This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

Digitized by Google

Digitized by Google

7-8-W.8.
[53]

5311274325
X-53-312838-5

Digitized by Google

R. 263.245
Mat. del Sr. Campos.

TRATADO ELEMENTAL

ó

PRINCIPIOS DE FÍSICA

FUNDADOS

EN LOS CONOCIMIENTOS MAS CIERTOS,

ASÍ ANTIGUOS COMO MODERNOS,

Y CONFIRMADOS POR LA EXPERIENCIA.

ESCRITOS EN FRANCES

POR EL C. BRISSON,

MIEMBRO DEL INSTITUTO NACIONAL DE CIENCIAS Y ARTES, Y PROFESOR EN LAS ESCUELAS CENTRALES DE PARIS.

TRADUCIDOS AL CASTELLANO

DE LA TERCERA EDICION, EXÁMINADA DE NUEVO, CORREGIDA Y AUMENTADA POR EL AUTOR,

POR D. JULIAN ANTONIO RODRIGUEZ,
ARQUITECTO AL SERVICIO DE S. M.

TOMO PRIMERO.

CON LICENCIA EN MADRID
EN LA IMPRENTA DE LA ADMINISTRACION DEL REAL ARBITRIO DE BENEFICENCIA.
AÑO DE 1803.

Digitized by Google

Digitized by Google

AL EX.MO SEÑOR

DON PEDRO CEVALLOS,

CONSEJERO DE ESTADO DE S. M., CABALLERO GRAN CRUZ EN LA REAL Y DISTINGUIDA ÓRDEN DE CÁRLOS III, GENTILHOMBRE DE CÁMARA CON EXERCICIO, PRIMER SECRETARIO DE ESTADO Y DEL DESPACHO UNIVERSAL, SECRETARIO DE LA REYNA NUESTRA SEÑORA, SUPERINTENDENTE GENERAL DE CAMINOS, DE CORREOS Y POSTAS EN ESPAÑA É INDIAS, ETC. ETC.

D. O. Y C.

Su mas rendido servidor

Julian Antonio Rodriguez.

Digitized by Google

Digitized by Google

PREFACIO DEL TRADUCTOR.

En un tiempo en que, por nuestra buena suerte, ha llegado á tomar en España un incremento tan considerable el estudio de las ciencias exâctas, creo será bien recibida la traduccion que presento al público *del Tratado elemental de Física* que escribió en frances el C. Brisson.

Para que salga con la mayor perfeccion posible, relativamente á mis fuerzas, no he perdonado diligencia ni trabajo alguno; pues á mas del dilatado estudio que he hecho de esta ciencia por algunos años, y de la continua asistencia que he tenido en parte de ellos á la clase de Física Experimental establecida en esta Corte, he procurado tener presente al tiempo de hacerla lo mas y mejor que se ha escrito sobre esta ciencia. Si las ventajas y utilidad que puedan sacar de este mi trabajo los jóvenes que se dedican al estudio de las ciencias naturales son correspondientes á mis deseos, habré recibido el premio de mi mayor satisfaccion, y el mas análogo á mis ideas patrióticas.

He creido seria acertado no incluir en mi traduccion la *instruccion sobre los nuevos pesos y medidas* que coloca Brisson al principio de su Tratado; como tambien el suprimir en todo el discurso de la obra las indicaciones y comparacion que en ella hace el autor, en todos los casos que se le presentan, de los pesos y medidas antiguos con los nuevos; dexando solo los primeros, que es lo que basta para la mayor claridad é inteligencia de los cálculos ó cantidades que se expresan, para cuyo procedimiento he tenido muy poderosos motivos: sea el primero el que ni aun remotamente podemos esperar se admita en nuestra península este nuevo sistema de pesos y medidas, por causas cuya dilatada discution no es de aquí, y por la ra-

Digitized by Google

zon de que despues de restituirse á España, concluida ya su comision, el Diputado por nuestro Soberano al Instituto nacional de Francia para el arreglo de los nuevos pesos y medidas, se ha expedido y mandado observar la resolucion de S. M. sobre este punto, en Cédula de 20 de Enero de 1801; cuya resolucion se reduce solo á la igualacion de pesas y medidas en todos sus Reynos y Señoríos, para la que se deberá tomar por norma las que estan en uso mas generalmente en estos Reynos. Es el segundo motivo el de que este mismo Diputado (el Señor Don Gabriel Ciscár, Capitan de Navío de la Real Armada) ha publicado ya en el año pasado de 1800 una *Memoria elemental sobre los nuevos pesos y medidas decimales*, en la que se halla expuesto con la mayor claridad el nuevo sistema de pesos y medidas, y relacion que tienen con los antiguos.

En la traduccion de las Sinonimias antigua y nueva, nueva y antigua, que van al frente de este tomo primero, he seguido las terminaciones que establece el Señor Don Domingo García Fernandez en la nomenclatura chímica que se halla al fin del primer tomo de su traduccion de los *Elementos del arte de teñir*, para lo qual creo me autorice excesivamente el mérito y reputacion de este sabio naturalista.

Últimamente, constará esta traduccion de quatro tomos: los tres primeros serán los correspondientes á los tres de que se compone *el Tratado Elemental de Física* en frances; y el quarto á los *Elementos Físico-chímicos*, tambien del mismo autor, que escribió para que sirviesen de continuacion á sus Principios de Física.

Digitized by Google

DISCURSO PRELIMINAR.

De veinte y cinco años á esta parte se ha hecho sobre la composicion de los cuerpos y sobre la naturaleza de sus partes integrantes un gran número de experimentos, y tales en fin como se los debia hacer para obtener resultados que satisfaciesen. El modo de hacerlos que tenian los físicos en los tiempos anteriores no era nada exácto: al analizar un cuerpo se encontraba algunas veces sustancias que se creia entrar en la composicion de este cuerpo, en lo que freqüentemente se padecia error, á causa de haberse formado estas sustancias durante la operacion. Se hubiera tenido una prueba de esto habiéndose asegurado del peso del resultado de esta operacion, que se hubiera hallado ser mas grande que el que tenia el cuerpo puesto á analizar. En el dia se toma una nota exácta de este peso, y á mas todas las precauciones necesarias para recoger todo lo que se escapa durante la analisis: si se halla aumento en el peso, hay seguridad de que se ha formado un nuevo sér durante la operacion, en cuyo caso no se trata de otra cosa que de descubrir qual es la sustancia que ha suministrado las partes que han entrado en la composicion de este nuevo sér, lo que se consigue observando quales son las sustancias con quienes ha estado en contacto, durante la operacion, el cuerpo analizado.

Estos experimentos han manifestado que hay un gran número de cuerpos que pueden reducirse al es-

Digitized by Google

tado de flúidos elásticos, baxo cuyo punto de vista se les ha considerado. Los nuevos procedimientos que se han empleado para reconocer la composicion y propiedades de estos cuerpos, y el gran número de sabios que en toda la Europa se han ocupado en esta especie de indagaciones, han enriquecido los diferentes ramos de la física con un número considerable de descubrimientos. Fenómenos que hasta entónces habian parecido aislados, y no tener relacion alguna entre sí, han sido encadenados y unidos con nuevos hechos; y la ciencia presenta en el dia una serie de hechos mas numerosa y mas ordenada.

Pero desde esta época, que se puede mirar como la de una verdadera renovacion en las ciencias de observacion, se han publicado los descubrimientos cada uno en particular, y á medida que se han ido ofreciendo; con cuyo motivo se hallan esparcidos en las Memorias de las diferentes Sociedades sabias, y en algunos tratados particulares, sin que nadie haya aun emprendido la reunion de ellos en un cuerpo de doctrina. Nos faltaba pues un Tratado de Física en el qual estuviesen los hechos reducidos, segun su dependencia mútua, á un número pequeño de fenómenos generales, á quienes se pudiese mirar como *principios*; y en donde estos mismos principios se presentasen en un órden sistemático, y unidos entre sí, en términos que fuese fácil su comprehension: todo lo qual es lo que he procurado hacer en la obra que tengo la honra de presentar al público.

Todo lo que he adelantado y mirado como *prin-*

Digitized by Google

cipio, está fundado en los experimentos mas concluyentes: no he adoptado sistema alguno, por creer son por lo comun muy propios para detener los progresos de la física, y en general muy dañosos á las ciencias; pues que para formarlos se hace hipótesis y suposiciones gratuitas, freqüentemente inconcebibles; las que se cree haber probado, despues de haberlas repetido diez ó doce veces, partiendo de aquí para decir: *hemos demostrado.*

Habiéndonos dado motivo para observar un gran número de seres nuevos, los hechos numerosos y nuevamente conocidos que presentan los flúidos elásticos, así como las sustancias de adonde se extraen, ó por lo ménos aquellas de que hacemos uso para proporcionárnoslos, ha sido preciso darles nombres para poderlos expresar; cuyos nombres son tales que indican quales son las partes constitutivas de estas sustancias. Para que en el discurso y en las ideas haya la uniformidad debida se ha dado tambien á las sustancias antiguamente conocidas nombres análogos y no ménos significativos; de adonde ha resultado una nueva lengua, de la que he hecho uso, y que es mucho mas significativa que la antigua; porque estos nombres, por exemplo, *Sal de Seignette*, y *Sal de duobus*, no manifiestan ni indican las sales de que estan compuestas estas dos sustancias; en lugar de que *tartrite de sosa*, que es el nombre nuevo de la primera, y *sulfate de potasa*, que es de la segunda, manifiestan que la una está formada por la combinacion del ácido tartaroso con la sosa, y la otra por la

Digitized by Google

combinacion del ácido sulfúrico con la potasa, y así de los demas nombres. No se imagine por esto que este nuevo idioma exîge un estudio largo; pues estoy persuadido de que qualquiera que quiera tomarse el trabajo de aprenderle, lo conseguirá en algunas horas, no siendo mas que cerca de unas cinqüenta palabras las que hay que tener en la memoria; y aun hay muchas de estas que tienen terminaciones semejantes quando sus significaciones son análogas.

Á fin pues, de que no haya que recurrir á otra obra he colocado al principio de ésta dos Sinonimias de los nombres antiguos y nuevos, arreglados por órden alfabético; en las quales se hallará todos los nombres empleados en esta obra. En la primera, los nombres antiguos ántes, al lado de los quales estan los nombres modernos ó adoptados, que les corresponden; y en la segunda, que es la opuesta á la primera, está cada nombre nuevo acompañado de todos sus sinónimos antiguos; en donde se verá que hay alguna sustancia á la que diéron los antiguos hasta doce ó catorce nombres diferentes. ¿Qué confusion no seria esto capaz de causar en el espíritu de los principiantes?

Esta obra, que está destinada á la juventud de uno y otro sexô, comprehende todas las qüestiones relativas á la física; y á fin de poder ser entendido de unos y otros, me he sujetado á emplear la mayor claridad que me ha sido posible; para lo qual he procurado ser breve y conciso, por haber observado siempre en los muchos años que ha que enseño al pú-

Digitized by Google

blico, que quanto mas cortas y compendiosas eran mis explicaciones mejor se entendian. Esta es la causa de que esta obra, no obstante la gran cantidad de materiales que contiene, no forme mas que tres tomos en octavo marquilla, y sin embargo creo no haber olvidado nada.

Está dividida esta obra en diez y nueve capítulos: el primero trata de las *propiedades generales de los cuerpos*, que son doce: el segundo, *del movimiento y de sus leyes*: el tercero, *de las causas que varían la direccion del movimiento*: el quarto, *de las leyes del movimiento compuesto*: el quinto, *de las fuerzas centrales*: el sexto, *de la gravedad ó gravitacion de los cuerpos*: el septimo, *de la pesantez de los cuerpos*: el octavo, de la *Hidrodinámica*, que comprehende la *Hidrostática* y la *Hidráulica*: el noveno trata de la *mecánica estática*: el décimo, *de los flúidos elásticos*: el undécimo, *de las propiedades del ayre*: el duodécimo, *de las propiedades del agua*: el décimotercio, *de la naturaleza y de las propiedades del fuego*: el décimoquarto, *de la naturaleza y de las propiedades de la luz*, en el que estan comprehendidos los tratados de *Óptica*, *Catóptrica*, *Dióptrica y Colores*: el décimoquinto, *de la vision de los objetos*, ya sea natural, ya artificial; hallándose en esta última la descripcion y uso de todos los instrumentos de óptica: el décimosexto trata *de la Astronomía física*: el décimoseptimo, *del fluxo y refluxo*, *de sus fenómenos y de sus causas*: el décimooctavo, *del magnetismo*; y en fin, el décimonono trata *de la electricidad*; y á

Digitized by Google

mas, *de la analogía entre los efectos del trueno y los de la electricidad*, así como de las causas de *las auroras boreales*, y de las *mangas ó bombas marinas*.

Concluye la obra con una tabla de materias, ordenadas por órden alfabético, que equivale á un diccionario, y por medio de la qual se podrá hallar al instante la qüestion que se quiera, y todo lo que tenga relacion con ella.

Digitized by Google

SINONIMIA

ANTIGUA Y NUEVA POR ÓRDEN ALFABÉTICO.

A

Nombres antiguos.	*Nombres nuevos.*
Acero.....	Acero.
Aceyte de cal.....	Muriate calizo.
Aceyte de tártaro por deliquio.....	Potasa mezclada con carbonate de potasa en deliquescencia.
Aceyte de vitriolo.....	Acido sulfúrico.
Aceyte dulce del vino.....	Aceyte etéreo.
Aceytes animales.....	Aceytes volátiles animales.
Aceytes grasos.....	Aceytes fixos.
Aceytes dulces.....	Aceytes fixos.
Aceytes empireumáticos....	Aceytes empireumáticos.
Aceytes esenciales.....	Aceytes volátiles.
Aceytes etéreos.....	
Aceytes por expresion.....	Aceytes fixos.
Acido acetoso.....	Acido acetoso.
Acido aereo.....	Acido carbónico.
Acido arsenical.....	Acido arsénico.
Acido atmosférico.....	Acido carbónico.
Acido benzónico.....	Acido benzóico.
Acido bezoárdico.....	Acido lítico.
Acido boracino.....	Acido borácico.
Acido carbonoso.....	Acido carbónico.
Acido citroniano.....	Acido cítrico.
Acido de almivar.....	Acido pyro-mucoso.
Acido de la acedera.....	Acido oxálico.
Acido de la molibdena.....	Acido molíbdico.
Acido de la orina.....	Acido fosfórico.
Acido de la sal marina.....	Acido muriático.
Acido de las hormigas.....	Acido fórmico.
Acido de las manzanas.....	Acido málico.
Acido del alcanfor.....	Acido canfórico.

Digitized by Google

Nombres antiguos.	*Nombres nuevos.*
Acido del azucar	Acido oxâlico.
Acido del azufre	Acido sulfúrico.
Acido del azucar de leche	Acido sacoláctico.
Acido del benjui	Acido benzóico.
Acido del borras	Acido borácico.
Acido del cálculo	Acido lítico.
Acido del gusano de seda	Acido bómbico.
Acido del sebo	Acido sebácico.
Acido del sucino	Acido sucíniço.
Acido del tártaro	Acido tartoroso.
Acido del vinagre	Acido acetoso.
Acido del Wolfram de los Señores Delhuyar	Acido túnstico.
Acido espático	Acido fluórico.
Acido fluórico	Acido fluórico.
Acido formicino	Acido fórmiço.
Acido fosfórico	Acido fosfórico.
Acido fosfórico deflogisticado	
Acido fosfórico flogisticado	Acido fosforoso.
Acido fosfórico volátil	
Acido galáctico	Acido láctico.
Acido gállico	Acido gállico, galaceo, ó de agalla.
Acido gredoso	Acido carbónico.
Acido lignico	Acido pyro-lefioso.
Acido lithiásico	Acido lítico.
Acido malusiano	Acido málico.
Acido marino	Acido muriático.
Acido marino ayreado	Acido muriático oxîgenado.
Acido marino deflogisticado	
Acido mefítico	Acido carbónico.
Acido nitroso blanco	Acido nítrico.
Acido nitroso sin gas	
Acido nitroso deflogisticado	
Acido nitroso fumante	Acido nitroso.
Acido nitroso flogisticado	
Acido nitroso brillante	
Acido oxâlino	Acido oxâlico.
Acido perlado	Fosfate de sosa saturado.
Acidum pingue	Principio hipotético de Mr. Meyer.

Digitized by Google

Nombres antiguos.	*Nombres nuevos.*
Acido regalino	Acido nitro-muriático.
Acido sacarino	Acido oxálico.
Acido sacláctico	Acido sacoláctico.
Acido sebaceo	Acido sebácico.
Acido sedativo	Acido borácico.
Acido sulfuroso	Acido sulfuroso.
Acido sulfuroso volátil	
Acido tartaroso	Acido tartaroso.
Acido túngstico	Acido tánstico.
Acido vitriólico	Acido sulfúrico.
Acido vitriólico flogisticado.	Acido sulfuroso.
Agua ayreada	Acido carbónico.
Agua de cal	Cal disuelta en el agua.
	Agua de cal.
Agua fuerte	Acido nitroso del comercio.
Agua madre del nitro	Nitrate de cal.
Agua madre de la sal marina.	Muriate de cal.
Agua regia	Acido nitro-muriático.
Aguas acídulas	Aguas impregnadas de ácido carbónico.
Aguas gaseosas	Aguas sulfuradas.
Aguas hepáticas	Aguas sulfurosas.
Aguas madres	Residuos sálinos deliquescentes.
Agrio amoniacal	Acetite amoniacal.
	Acetite de amoniaco.
Agrio de arcilla	Acetite aluminoso.
Agrio calizo	Acetite de cal.
Agrio de cobre	Acetite de cobre.
Agrio de magnesia	Acetite de magnesia.
Agrio de plomo	Acetite de plomo.
Agrio de potasa	Acetite de potasa.
Agrio de sosa	Acetite de sosa.
Agrio de zinc	Acetite de zinc.
Agrio marcial	Acetite de hierro.
Agrio mercurial	Acetite mercurial.
Albayalde	Oxîdo de plomo blanco por el ácido acetoso.
Alcali fixo del tártaro cáustico	Potasa.
Alcali fixo del tártaro no cáustico	Carbonate de potasa.

Digitized by Google

Nombres antiguos.	*Nombres nuevos.*
Alcali fixo mineral ayreado.	Carbonate de sosa.
Alcali fixo mineral efervescente.	Carbonate de sosa.
Alcali fixo vegetal.	Carbonate de potasa.
Alcali fixo vegetal ayreado.	Carbonate de potasa.
Alcali fixo vegetal cáustico.	Potasa.
Alcali flogisticado.	Prusiate de potasa ferruginoso no saturado.
Alcali marino.	Sosa.
Alcali marino cáustico.	Sosa.
Alcali marino no cáustico.	Carbonate de sosa.
Alcali mineral.	Sosa.
Alcali mineral ayreado.	Carbonate de sosa.
Alcali mineral cáustico.	Sosa.
Alcali mineral efervescente.	Carbonate de sosa.
Alcali prusiano.	Prusiate de potasa ferruginoso.
Alcali vegetal.	Potasa.
Alcali vegetal ayreado.	Carbonate de potasa.
Alcali vegetal cáustico.	Potasa.
Alcali vegetal efervescente.	Carbonate de potasa.
Alcali volátil.	Amoniaca.
Alcáli volátil cáustico.	Amoniaca.
Alcali volátil concreto.	Carbonate amoniacal.
Alcali volátil efervescente.	Carbonate amoniacal.
Alcali volátil fluor.	Amoniaca.
Alcali urinoso.	Amoniaca.
Alcalis cáusticos.	Alcalis.
Alcalis en general.	Alcalis.
Alcalis efervescentes.	Carbonates alcalinos.
Alcanforites.	Alcanforates.
Aligacion de los metales.	Aligacion.
Alkaest.	Disolvente universal cuya existencia supusiéron los alquimistas.
Alkaest de Respour.	Potasa mezclada de oxîdo y de zinc.
Alkaest de Vanhelmont.	Carbonate de potasa.
Alumbre.	Sulfate de alumina.
Alumbre marino.	Muriate de alumina.
Alumbre nitroso.	Nitrate de alumina.
Amalgama.	Amalgama.

Digitized by Google

Nombres antiguos.	*Nombres nuevos.*
Ambar amarillo.....	Succino.
Amoniaco arsenical.....	Arseniate de amoniaca.
Antimonio (Mina de).....	Sulfureto de antimonio nativo.
Antimonio crudo.....	Sulfureto de antimonio.
Aquila alba.....	Muriate de mercurio dulce sublimado.
Arcanum duplicatum.....	Sulfate de potasa.
Arcilla.....	Arcilla, mezcla de alumina y de sílica.
Arcilla espática.....	Fluate de alumina.
Arcilla gredosa.....	Carbonate de alumina.
Arcilla pura.....	Alumina.
Arsénico (régulo de).....	Arsénico.
Arsénico blanco.....	Oxîdo de arsénico.
Arsénico roxo.....	Oxîdo de arsénico sulfurado roxo ó rubro.
Ayre acido vitriólico.....	Gas acido sulfuroso.
Ayre alcalino.....	Gas amoniacal.
Ayre artificial.....	Gas acido carbónico.
Ayre atmosférico.....	Ayre atmosférico.
Ayre corrompido.....	Gas azótico ó azoe.
Ayre deflogisticado.....	Gas oxîgeno.
Ayre del fuego de M. Scheele.	
Ayre de mal olor del azufre.	Gas hidrógeno sulfurado.
Ayre fixado.....	Acido carbónico.
Ayre fixo.....	Gas acido carbónico.
Ayre flogisticado.....	Gas azótico ó azoe.
Ayre inflamable.....	Gas hidrógeno.
Ayre inflamable de las lagunas.	Gas hidrógeno de las lagunas.
Ayre marino.....	Gas acido muriático.
Ayre puro.....	Gas oxîgeno.
Ayre sólido de M. Hales....	Gas acido carbónico.
Ayre viciado.....	Gas azótico ó azoe.
Ayre vital.....	Gas oxîgeno.
Azafran de los metales.....	Oxîdo de antimonio sulfurado semi-vidrioso.
Azafran de Marte.....	Oxîdo de hierro.
Azafran de Marte aperitivo..	Carbonate de hierro.
Azafran de Marte astringente.....	Oxîdo de hierro moreno ó fusco.
Azofar.....	Aligacion del cobre y del estaño.

Digitized by Google

Nombres antiguos.	*Nombres nuevos.*
Azogue	Mercurio.
Azucar de Saturno	Acetite de plomo.
Azufre	Azufre.
Azufre dorado de antimonio	Oxîdo de antimonio sulfurado naranjado.
Azul	Oxîdo de cobalto vidrioso.
Azul de Berlin	Prusiate de hierro.
Azul de Prusia	

B

Bálsamo de azufre	Sulfureto de aceyte fixo. Sulfureto de aceyte volátil.
Barota	Barita.
Barota efervescente	Carbonate barítico.
Base de la sal marina	Sosa.
Base del alumbre	Alumina.
Base del ayre puro	Oxîgeno.
Base del ayre vital	
Benzonos	Benzoates.
Bezoárdico mineral	Oxîdo de antimonio por los acidos muriático y nítrico.
Blanco de afeytes	Oxîdo de bismuto blanco por el acido nítrico.
Blanco de plomo	Oxîdo de plomo blanco por el acido acetoso.
Borrax	Borate.
Borrax bruto	Borate saturado de sosa.
Borrax del comercio	
Bronce	Aligacion de cobre y de estaño.

C

Nombres antiguos.	*Nombres nuevos.*
Cal de arsénico..... ..	Oxîdo de arsénico.
Cal de plomo.....	Oxîdo de plomo.
Cal viva.....	Cal.
Cales metálicas.....	Oxîdos metálicos.
Calor fixo.....	Calórico combinado.
Calor latente.....	
Camaleon mineral.....	Oxîdo de manganeso y potasa.
Caparrosa azul.....	Sulfate de cobre.
Caparrosa blanca...	Sulfate de zinc.
Caparrosa verde.....	Sulfate de hierro.
Carbon puro.....	Carbono.
Cardenillo.....	Oxîdo de cobre verde.
Causticum.....	Principio hipotético de M. Meyer.
Cinabrio.....	Oxîdo de mercurio sulfurado, roxo ó rubro.
Cobalto.....	Cobalto.
Cobolto.....	
Cobre.....	Cobre.
Colcotar.....	Oxîdo de hierro roxo ó rubro.
Combinaciones de los aceytes grasos ó fixos con diferentes bases.....	Xabones.
Combinaciones de los aceytes grasos ó fixos con diferentes ácidos.....	Xabones ácidos.
Combinaciones de los aceytes grasos ó fixos con las substancias metálicas.....	Xabones metálicos.
Combinaciones de los aceytes volátiles ó esenciales con diferentes bases.....	Xaboncillos.

Digitized by Google

Nombres antiguos.	*Nombres nuevos.*
Combinaciones de los aceytes volátiles ó esenciales con diferentes ácidos.....	Xaboncillos ácidos.
Combinaciones de los aceytes volátiles ó esenciales con las substancias metálicas.....	Xaboncillos metálicos.
Combinaciones del fósforo no oxîgenado con diferentes bases.....	Fosforetos.
Combinaciones del azufre con los metales.....	Sulfuretos metálicos.
Crema de cal.....	Carbonate calizo.
Cremor de tártaro.....	Tartrite acídulo de potasa.
Cristales de luna.....	Nitrate de plata.
Cristales de sosa.....	Carbonate de sosa.
Cristales de tártaro.....	Tartrite acídulo de potasa.
Cristales de Venus.....	Acetite de cobre cristalizado.
Crocus Metallorum.....	Oxîdo de antimonio sulfurado semi-vidrioso.

D

Diana..... Plata.

E

Emético..... Tartrite de potasa antimoniado.
Empíreo..... Oxîgeno.
Esencias..... Aceytes volátiles.
Esmalte..... Oxîdo de cobalto vidrioso.
Espato amoniacal..... Fluate amoniacal.

Digitized by Google

Nombres antiguos.	*Nombres nuevos.*
Espato calizo	Carbonate calizo.
Espato cúbico	Fluate de cal.
Espato fluor	
Espato fosfórico	
Espato pesado	Sulfate de barita.
Espato vidrioso	Fluate de cal.
Espejuelo de yeso	Sulfate calizo.
Espíritu ácido empireumático de madera	Acido pyro-leñoso.
Espíritu alcalino volátil	Gas amoniacal.
Espíritu ardiente	Alcohol.
Espíritu de azufre	Acido sulfuroso.
Espíritu de Menderero	Acetite amoniacal.
Espíritu de miel, de azucar, &c.	Acido pyro-mucoso.
Espíritu de nitro	Acido nítrico dilatado en agua.
Espíritu de nitro dulcificado	Alcohol nítrico.
Espíritu de nitro fumante	Acido nitroso.
Espíritu de sal	Acido muriático.
Espíritu de sal amoniaco	Amoniaca.
Espíritu de sal fumante	Acido muriático.
Espíritu de tártaro	Acido pyro tartaroso.
Espíritu de Venus	Acido acético.
Espíritu de vino	Alcohol.
Espíritu de vitriolo	Acido sulfúrico dilatado en agua.
Espíritu rector	Aroma.
Espíritu silvestre	Gas ácido carbónico.
Espíritu volátil de sal amoniaco.	Amoniaca dilatada en agua.
Espíritus ácidos	Acidos dilatados en agua.
Estaño	Estaño.
Estaño córneo	Muriate de estaño.
Eter acetoso	Eter acético.
Eter marino	Eter muriático.
Eter nitroso	Eter nítrico.
Eter vitriólico	Eter sulfúrico.
Etiope marcial	Oxîdo de hierro negro.
Etiope mineral	Oxîdo de mercurio sulfurado negro.
Etiope per se	Oxîdo de mercurio negruzco.
Extracto	El extractivo.

Digitized by Google

F

Nombres antiguos.	*Nombres nuevos.*
Féculas de las plantas.....	Féculas.
Flogístico.....	Principio hipotético de Stahl.
Flogístico de Kirvan.....	Gas hidrógeno.
Flores amoniacales cobrosas...	Muriate de cobre amoniacal sublimado.
Flores amoniacales marciales..	Muriate de hierro amoniacal sublimado.
Flores de antimonio.....	Oxîdo de antimonio sublimado.
Flores de arsénico.....	Oxîdo de arsénico blanco sublimado.
Flores de azufre.....	Azufre sublimado.
Flores de benjui.....	Acido benzóico sublimado.
Flores de bismuto.....	Oxîdo de bismuto sublimado.
Flores de estaño.....	Oxîdo de estaño sublimado.
Flores de zinc.....	Oxîdo de zinc sublimado.
Flores metálicas.....	Oxîdos metálicos sublimados.
Flores plateadas de régulo de antimonio.....	Oxîdo de antimonio sublimado.
Fluidos aeriformes.....	Gas.
Fluidos elásticos.....	
Fluor amoniacal.....	Fluate amoniacal.
Fluor arcilloso.....	Fluate de alumina.
Fluor barótico.....	Fluate de barita.
Fluor de potasa.....	Fluate de potasa.
Fluor de sosa.....	Fluate de sosa.
Fluor espático.....	Fluate de cal.
Fluor magnesiano.....	Fluate de magnesia.
Fluor pesado.....	Fluate de barita.
Fluor tartaroso.....	Fluate de potasa.
Fósforo de Baudouin.....	Nitrate calizo seco.
Fósforo de Homberg.....	Muriate calizo seco.
Fósforo de Kunkel.....	Fósforo.

Digitized by Google

G

Nombres antiguos.	*Nombres nuevos.*
Gas.....	Gas.
Gas ácido acetoso.....	Gas ácido acetoso.
Gas ácido espático.....	Gas ácido fluórico.
Gas ácido gredoso.....	Gas ácido carbónico.
Gas ácido fluórico.....	Gas ácido fluórico.
Gas ácido marino.....	Gas ácido muriático.
Gas ácido marino deflogisticado.	Gas muriático oxigenado.
Gas ácido muriático.....	Gas ácido muriático.
Gas ácido muriático ayreado..	Gas muriático oxigenado.
Gas ácido nitroso.....	Gas ácido nitroso.
Gas ácido sulfuroso.....	Gas ácido sulfuroso.
Gas ácido vitriólico.....	
Gas alcali volátil.....	Gas amoniacal.
Gas alcalino.....	
Gas atmosférico.....	Gas azótico ó azoe.
Gas flogisticado.....	
Gas fosfórico.....	Gas hidrógeno fosforado.
Gas hepático.....	Gas hidrógeno sulfurado.
Gas inflamable.....	Gas hidrógeno.
Gas inflamable carbonado.....	Gas hidrógeno carbonado.
Gas inflamable carbónico.....	Gas hidrógeno carbónico.
Gas inflamable carbonoso.....	Gas hidrógeno carbonado.
Gas inflamable de los pantanos.	Gas hidrógeno de las lagunas.
Gas inflamable fosforado.....	Gas hidrógeno fosforado.
Gas inflamable mofetizado....	Gas hidrógeno de las lagunas.
Gas inflamable sulfurado.....	Gas hidrógeno sulfurado.
Gas mefítico.....	Gas ácido carbónico.
Gas nitroso.....	Gas nitroso.
Gas silvestre.....	Gas ácido carbónico.
Greda.....	Carbonate calizo.
Greda amoniacal.....	Carbonate amoniacal.
Greda barótica.....	Carbonate barítico.

Digitized by Google

Nombres antiguos.	*Nombres nuevos.*
Greda de plomo.....	Carbonate de plomo.
Greda de sosa.....	Carbonate de sosa.
Greda de zinc.....	Carbonate de zinc.
Greda magnesiana.....	Carbonate de magnesia.
Greda marcial.....	Carbonate de hierro.
Gilla vitrioli.....	Sulfate de zinc.

H

Hepares.....	Sulfuretos.
Hepares alcalinos.....	Sulfuretos alcalinos.
Hierro.....	Hierro.
Hierro ayreado.....	Carbonate de hierro.
Hierro de agua.....	Fosfate de hierro.
Hígado de antimonio.....	Oxîdo de antimonio sublimado.
Hígado de arsénico.....	Oxîdo arsenical de potasa.
Hígado de azufre alcalino volátil.....	Sulfureto amoniacal.
Hígado de azufre antimoniado.	Sulfureto de potasa antimoniado. Sulfureto de sosa antimoniado.
Hígado de azufre de base de álcali vegetal.....	Sulfureto de potasa.
Hígado de azufre de base de álcali fixo mineral.....	Sulfureto de sosa.
Hígado de azufre barítico.....	Sulfureto de barita.
Hígado de azufre calizo.....	Sulfureto calizo, ó de cal.
Hígado de azufre magnesiano.	Sulfureto de magnesia.
Hígados de azufre.....	Sulfuretos.
Hígados de azufre alcalinos...	Sulfuretos alcalinos.
Hígados de azufre calizos.....	Sulfuretos calizos.
Hígados de azufre terreos.....	Sulfuretos terreos.

Digitized by Google

J

Nombres antiguos.	*Nombres nuevos.*
Juan blanca.....	Platino (el).
Júpiter.....	Estaño.

K

Karabe.....	Sucino.
Kermes mineral.....	Oxîdo de antimonio sulfurado roxo ó rubro.

L

Lana filosófica.....	Oxîdo de zinc sublimado.
Laton.....	Aligacion del cobre y de zinc.
Leche de cal.....	Cal desleida en agua.
Lexía de xaboneros.....	Disolucion de sosa.
Licor de guijarros.....	Potasa silicea en licor.
Licor fumante de Boyle.....	Sulfureto amoniacal.
Licor fumante de Libavio.....	Muriate de estaño fumante.
Licor saturado de la parte colorante del azul de Prusia..	Prusiate de potasa.
Lilium de Paracelso.....	Alcohol de potasa.
Litargirio.....	Litargirio. Oxîdo de plomo semividrioso.
Luna.....	Plata.
Luna córnea.....	Muriate de plata.

Digitized by Google

M

Nombres antiguos.	*Nombres nuevos.*
Magisterio de azufre.....	Azufre precipitado.
Magisterio de bismuto.....	Oxîdo de bismuto blanco por el ácido nítrico.
Magisterio de plomo.....	Oxîdo de plomo precipitado.
Magnesia ayreada de Bergman.	Carbonate de magnesia.
Magnesia blanca.....	
Magnesia efervescente.....	
Magnesia espática.....	Fluate de magnesia.
Magnesia fluorada.....	Fluate de magnesia.
Magnesia gredosa.....	Carbonate de magnesia.
Magnesia negra.....	Oxîdo de manganeso negro.
Manteca de antimonio.....	Muriate de antimonio fumante.
Manteca de arsénico.....	Muriate de arsénico sublimado.
Manteca de bismuto.....	Muriate de bismuto sublimado.
Manteca de estafio.....	Muriate de estafio sublimado.
Manteca de estafio sólido de M. Baumé.....	Muriate de estafio concreto.
Manteca de zinc.....	Muriate de zinc sublimado.
Marte.....	Hierro.
Masicot.....	Oxîdo de plomo amarillo.
Materia colorante del azul de Prusia.....	Acido prúsico.
Materia del calor.....	Calórico.
Materia del fuego.....	
Materia perlada de Kerkringio.....	Oxîdo de antimonio blanco por el nitro.
Mefito amoniacal.....	Carbonate amoniacal.
Mefito barótico.....	Carbonate de barita.
Mefito calizo.....	Carbonate calizo.
Mefito de magnesia.....	Carbonate de magnesia.
Mefito de plomo.....	Carbonate de plomo.
Mefito de potasa.....	Carbonate de potasa.

Digitized by Google

Nombres antiguos.	*Nombres nuevos.*
Mefito de sosa.....	Carbonate de sosa.
Mefito de zinc.....	Carbonate de zinc.
Mefito marcial.....	Carbonate de hierro.
Mercurio.....	Mercurio.
Mercurio de los metales.....	Principio hipótetico de Beccher.
Mercurio dulce.....	Muriate de mercurio dulce.
Mercurio precipitado blanco..	Muriate de mercurio por precipitacion.
Mina de antimonio.....	Sulfureto de antimonio nativo.
Minio.....	Minio. / Oxîdo de plomo roxo ó encarnado.
Mofeta atmosférica.....	Gas azótico ó azoe.
Mucilago.....	Mucoso (lo).

N

Natron..... / Natrum.....	Carbonate de sosa.
Nieve de antimonio.....	Oxîdo de antimonio blanco sublimado.
Nitro.....	Nitrate de potasa. / Nitro.
Nitro amoniacal.....	Nitrate de amoniaca.
Nitro arcilloso.....	Nitrate de alumina.
Nitro calizo.....	Nitrate de cal.
Nitro cúbico.....	Nitrate de sosa.
Nitro de plata.....	Nitrate de plata.
Nitro fixado por sí mismo.....	Carbonate de potasa.
Nitro lunar.....	Nitrate de plata.
Nitro quadrangular..... / Nitro romboidal.....	Nitrate de sosa.

Digitized by Google

O

Nombres antiguos.	*Nombres nuevos.*
Ocre	Oxîdo de hierro amarillo.
Orin de cobre	Oxîdo de cobre verde.
Orin de hierro	Carbonate de hierro.
Oro	Oro.
Oro fulminante	Oxîdo de oro amoniacal.
Oro pimente	Oxîdo de arsénico sulfurado amarillo.
Oxîgeno	Oxîgeno.

P

Piedra caliza	Carbonate calizo.
Piedra de cauterio	Potasa fundida.
Piedra infernal	Nitrate de plata fundido.
Piedra pesada	Tunstate calizo.
Pirita de cobre	Sulfureto de cobre.
Pirita marcial	Sulfureto de hierro.
Piróforo de Homberg	Piróforo de Homberg. Sulfureto de alumina carbonado.
Plata	Plata.
Plata cornea	Muriate de plata.
Platina del Pinto	Platino (el).
Platina (la)	
Plombagina	Carburo de hierro.
Plomo	Plomo.
Plomo corneo	Muriate de plomo.
Plomo espático	Carbonate de plomo.

Digitized by Google

Nombres antiguos.	*Nombres nuevos.*
Polvo de Algaroth	Oxîdo de antimonio por el ácido muriático.
Polvo del Conde de Palma	Carbonate de magnesia.
Polvo de Santinelli	
Pomfolix	Oxîdo de zinc sublimado.
Potasa del comercio	Carbonate de potasa impuro.
Potea de estaño	Oxîdo de estaño gris.
Precipitado amarillo	Oxîdo de mercurio amarillo por el ácido sulfúrico.
Precipitado de Casio	Oxîdo de oro por el estaño.
Precipitado de oro por el estaño	
Precipitado per se	Oxîdo de mercurio roxo ó rubro por el fuego.
Precipitado rosado de mercurio	Fosfate de mercurio.
Precipitado roxo	Oxîdo de mercurio roxo ó rubro por el ácido nítrico.
Principio acidificante	Oxîgeno.
Principio astringente	Acido gallico, galaceo ó de agalla.
Principio carbonoso	Carbono.
Principio del calor	Calórico.
Principio del fuego	
Principio inflamable	
Principio mercurial	Principio hipotético de Beccher.
Principio oloroso	Aroma.
Principio sorbil de Ludbock	Oxîgeno.
Púrpura de Casio	Oxîdo de oro por el estaño.

R

Realgar ó Rejalgar	Oxîdo de arsénico sulfurado roxo ó rubro.
Régulo	Voz que se emplea para expresar el estado metálico.
Régulo de antimonio	Antimonio.

Digitized by Google

Nombres antiguos.	*Nombres nuevos.*
Régulo de arsénico.....	Arsénico.
Régulo de bismuto.....	Bismuto.
Régulo de cobalto.....	Cobalto.
Régulo de manganesa.....	Manganeso (el).
Régulo de molibdena.....	Molibdeno (el).
Régulo de nickel.....	Nickel.
Régulo de Siderite.....	Fosforeto de hierro.
Régulo de zinc.....	Zinc.
Rubí de antimonio.....	Oxîdo de antimonio sulfurado vidrioso, moreno ó fusco.

S

Safra.....	Oxîdo de cobalto gris con silica ó pedernal.
	Safra.
Sal acetosa amoniacal.....	Acetite amoniacal.
Sal acetosa caliza.....	Acetite de cal.
Sal acetosa de arcilla.....	Acetite aluminoso.
Sal acetosa de zinc.....	Acetite de zinc.
Sal acetosa magnesiana.....	Acetite de magnesia.
Sal acetosa marcial.....	Acetite de hierro.
Sal acetosa mineral.....	Acetite de sosa.
Sal admirable perlada.....	Fosfate de sosa sobresaturado.
Sal Alembroth.....	Muriate de mercurio y de amoniaca.
Sal amoniaco.....	Muriate de amoniaca.
Sal amoniacal espática.....	Fluate amoniacal.
Sal amoniaco fixa.....	Muriate de cal.
Sal amoniacal gredosa.....	Carbonate amoniacal.
Sal amoniacal nitrosa.....	Tartrite de amoniaca.
Sal amoniacal secreta de Glaubero.....	Sulfate amoniacal.
Sal amoniacal sedativa.....	Borate amoniacal.
Sal amoniacal tartarosa.....	Tartrite de amoniaca.
Sal amoniacal vitriólica.....	Sulfate amoniacal.
Sal catártica amarga.....	Sulfate de magnesia.

Digitized by Google

Nombres antiguos.	*Nombres nuevos.*
Sal comun.....	Muriate de sosa.
Sal de acederas del comercio..	Oxâlate acídulo de potasa.
Sal de benjui.....	Acido benzóico.
Sal de canal.....	Sulfate de magnesia.
Sal de colcothar.....	Sulfate de hierro (poco conocido).
Sal de Duobus.....	Sulfate de potasa.
Sal de Epsum.....	Sulfate de magnesia.
Sal de Glaubero.....	Sulfate de sosa.
Sal de Júpiter.....	Muriate de estaño.
Sal de leche.....	Azucar de leche.
Sal de la Sabiduría.....	Muriate de mercurio y de amoniaca.
Sal de Saturno.....	Acetite de plomo.
Sal de Sedlitz.....	Sulfate de magnesia.
Sal de Segner.....	Sebate de potasa.
Sal de Seignette.....	Tartrite de sosa.
Sal de Seydschutz.....	Sulfate de magnesia.
Sal de sucino.....	Acido sucínico cristalizado.
Sal de Inglaterra.....	Carbonate amoniacal.
Sal febrifuga de Silvio.....	Muriate de potasa.
Sal fixa de tártaro.....	Carbonate de potasa.
Sal fusible de la orina.....	Fosfate de sosa y de amoniaca.
Sal gema.....	Muriate de sosa fosil.
Sal marina.....	Muriate de sosa.
Sal marina arcillosa.....	Muriate de alumina.
Sal marina barótica.....	Muriate de barita.
Sal marina caliza.....	Muriate de cal.
Sal marina magnesiana.....	Muriate de magnesia.
Sal nativa de orina.....	Fosfate de sosa y de amoniaca.
Sal neutra arsenical de Macquer.....	Arseniate acídulo de potasa.
Sal policresta de Glaser.....	Sulfate de potasa.
Sal policresta de la Rochela...	Tartrite de sosa.
Sal regalina de oro.....	Muriate de oro.
Sal sedativa.....	Acido borácico.
Sal sedativa mercurial.....	Borate de mercurio.
Sal sedativa sublimada.....	Acido borácico sublimado.
Sal sulfurosa de Sthal.....	Sulfite de potasa.
Sal vegetal.....	Tartrite de potasa.
Sal volátil de Inglaterra.....	Carbonate amoniacal.

Digitized by Google

Nombres antiguos.	*Nombres nuevos.*
Sal volátil de benjui.....	Acido benzóico sublimado.
Sal volátil de sucino.....	Acido sucínico.
Sal volátil narcótica de vitriolo.....	Acido borácico.
Sales arsenicales.....	Arseniates.
Sales formadas con el agua regia.....	Nitro-muriates.
Sales formadas por la combinacion del ácido acetoso con diferentes bases.....	Acetites.
Sales formadas por la combinacion del ácido acético con diferentes bases.....	Acetates.
Sales formadas por la combinacion del ácido benzóico con diferentes bases.....	Benzoates.
Sales formadas por la combinacion del ácido bómbico con diferentes bases.....	Bombiates.
Sales formadas por la combinacion del ácido borácico con diferentes bases.....	Borates.
Sales formadas por la combinacion del ácido canfórico con diferentes bases.....	Canforates.
Sales formadas por la combinacion del ácido carbónico con diferentes bases.....	Carbonates.
Sales formadas por la combinacion del ácido cítrico con diferentes bases.....	Citrates.
Sales formadas por la combinacion del ácido fluórico con diferentes bases.....	Fluates.
Sales formadas por la combinacion del ácido fórmico con diferentes bases.....	Formiates.
Sales formadas por la combinacion del ácido láctico ó del ácido del suero agriado, con diferentes bases.....	Lactates.

Digitized by Google

Nombres antiguos.	*Nombres nuevos.*
Sales formadas por la combinacion del ácido lítico, ó del ácido de la piedra de la vegiga con diferentes bases.....	Litiates.
Sales formadas por la combinacion del ácido málico, ó del ácido de las manzanas con diferentes bases.....	Malates.
Sales formadas por la combinacion del ácido molíbdico con diferentes bases.....	Molibdates.
Sales formadas por la combinacion del ácido muriático con diferentes bases.....	Muriates.
Sales formadas por la combinacion del ácido muriático oxîgenado con la potasa y la sosa, descubiertas por Bertholet.....	Muriates oxîgenados.
Sales formadas por la combinacion del ácido nitroso con diferentes bases.....	Nitrites.
Sales formadas por la combinacion del ácido nítrico con diferentes bases.....	Nitrates.
Sales formadas por la combinacion del ácido oxâlico con diferentes bases.....	Oxâlates.
Sales formadas por la combinacion del ácido fosforoso con diferentes bases.....	Fosfites.
Sales formadas por la combinacion del ácido fosfórico con diferentes bases.....	Fosfates.
Sales formadas por la combinacion del ácido prúsico, ó materia colorante del azul de Prusia con diferentes bases..	Prusiates.
Sales formadas por la combinacion del ácido pyro-lígnico con diferentes bases.....	Pyro-lignites.

Digitized by Google

Nombres antiguos.	*Nombres nuevos.*
Sales formadas por la combinacion del ácido pyro-múcico con diferentes bases.....	Pyro-mucites.
Sales formadas por la combinacion del ácido pyro-tartaroso con diferentes bases.....	Pyro-tartrites.
Sales formadas por la combinacion del ácido saco-láctico con diferentes bases.....	Saco-lates.
Sales formadas por la combinacion del ácido sebácico, ó del ácido de la grasa con diferentes bases.....	Sebates.
Sales formadas por la combinacion del ácido sucínico con diferentes bases.....	Sucinates.
Sales formadas por la combinacion del ácido sulfuroso con diferentes bases.....	Sulfites.
Sales formadas por la combinacion del ácido sulfúrico con diferentes bases.....	Sulfates.
Sales formadas por la combinacion del ácido tartaroso con diferentes bases.....	Tartrites.
Salitre.....	Nitrate de potasa. Nitro.
Saturno.....	Plomo.
Selenita.....	Sulfate de cal.
Sol.....	Oro.
Sosa ayreada.....	Carbonate de sosa.
Sosa cáustica.....	Sosa.
Sosa efervescente.....	Carbonate de sosa.
Sosa espática.....	Fluate de sosa.
Sosa gredosa.....	Carbonate de sosa.
Sublimado corrosivo.....	Muriate de mercurio corrosivo.
Sublimado dulce.....	Muriate de mercurio dulce.
Sucino.....	Sucino.
Suero de leche agriado.....	Acido láctico.
Syderita.....	Fosfate de hierro.
Syderiotete de Morveau.....	Fosforeto de hierro.

Digitized by Google

T

Nombres antiguos.	*Nombres nuevos.*
Tártaro	Tartrite acídulo de potasa.
Tártaro amoniacal	Tartrite de amoniaca.
Tártaro antimoniado	Tartrite de potasa antimoniado.
Tártaro calizo	Tartrite de cal.
Tártaro Chálybeado	Tartrite de potasa ferruginoso.
Tártaro crudo	Tártaro.
Tártaro de potasa	Tartrite de potasa.
Tártaro de sosa	Tartrite de sosa.
Tártaro emético	Tartrite de potasa antimoniado.
Tártaro espático	Fluate de potasa.
Tártaro estibiado	Tartrite de potasa antimoniado.
Tártaro gredoso	Carbonate de potasa.
Tártaro marcial soluble	Tartrite de potasa ferruginoso.
Tártaro mefítico	Carbonate de potasa.
Tártaro saturnino	Tartrite de plomo.
Tártaro soluble	Tartrite de potasa.
Tártaro tartarizado	Tartrite de potasa.
Tártaro tartarizado que contiene antimonio	Tartrite de potasa sobrecompuesto de antimonio.
Tártaro vitriolado	Sulfate de potasa.
Tierra animal	Fosfate calizo ó de cal.
Tierra arcillosa	Arcilla, mezcla de alumina y de silica.
Tierra caliza	Cal.
Tierra caliza ayreada	Carbonate calizo.
Tierra caliza efervescente	Carbonate calizo.
Tierra de alumbre	Alumina.
Tierra del espato pesado	Barita.
Tierra foliada cristalizada	Acetite de sosa.
Tierra foliada de tártaro	Acetite de potasa.
Tierra foliada mercurial	Acetite de mercurio.
Tierra foliada mineral	Acetite de sosa.

Digitized by Google

Nombres antiguos.	*Nombres nuevos.*
Tierra gredosa	Arcilla mezcla de alumina y de sílica.
Tierra magnesiana	Carbonate de magnesia.
Tierra muriática de Kirban	Carbonate de magnesia.
Tierra pesada	Barita.
Tierra pesada ayreada	Carbonate de barita.
Tierra silicea	Silica ó tierra silicea.
Tinta simpática por el cobalto.	Muriate de cobalto.
Tinta simpática por el litargirio.	Acetite de plomo.
Tinta simpática por el oropimente y la cal	Oxîdo de arsénico sulfurado amarillo y cal disuelto en el agua.
Tintura acre de potasa	Alcohol de potasa.
Tinturas espirituosas	Alcohol resinoso.
Turbith mineral	Oxîdo de mercurio amarillo por el ácido sulfúrico.
Turbith nitroso	Oxîdo de mercurio amarillo por el ácido nítrico.

V

Venus	Cobre.
Verdete	Acetite de cobre.
Verdete destilado del comercio.	
Vidrio de antimonio	Oxîdo antimonio sulfurado vidrioso.
Vinagre de Saturno	Acetite de plomo.
Vinagre destilada	Acido acetoso.
Vinagre radical	Acido acético.
Vitriolo amoniacal	Sulfate amoniacal.
Vitriolo azul	Sulfate de cobre.
Vitriolo barótico	Sulfate de barita.
Vitriolo blanco	Sulfate de zinc.
Vitriolo calizo	Sulfate de cal.
Vitriolo de antimonio	Sulfate de antimonio.
Vitriolo de arcilla	Sulfate de alumina.

Digitized by Google

Nombres antiguos.	*Nombres nuevos.*
Vitriolo de arsénico.....	Sulfate de arsénico.
Vitriolo de bismuto.....	Sulfate de bismuto.
Vitriolo de cal.....	Sulfate de cal.
Vitriolo de Chipre.....	Sulfate de cobre.
Vitriolo de cobre.....	
Vitriolo de cobalto.....	Sulfate de cobalto.
Vitriolo de estaño.....	Sulfate de estaño.
Vitriolo de Goslard.....	Sulfate de zinc.
Vitriolo de hierro.....	Sulfate de hierro.
Vitriolo de luna.....	Sulfate de plata.
Vitriolo de manganesa.....	Sulfate de manganeso.
Vitriolo de Marte.....	Sulfate de hierro.
Vitriolo de mercurio.....	Sulfate de mercurio.
Vitriolo de nickel.....	Sulfate de nickel.
Vitriolo de plata.....	Sulfate de plata.
Vitriolo de plomo.....	Sulfate de plomo.
Vitriolo de potasa.....	Sulfate de potasa.
Vitriolo de sosa.....	Sulfate de sosa.
Vitriolo de Venus.....	Sulfate de cobre.
Vitriolo de zinc.....	Sulfate de zinc.
Vitriolo magnesiano.....	Sulfate de magnesia.
Vitriolo marcial.....	Sulfate de hierro.
Vitriolo verde.....	
Wolfran de Delhuyar.....	Tunsteno.

X

Xabon de Sterkey.....	Xaboncillo de potasa.

Digitized by Google

Y

Nombres antiguos.	*Nombres nuevos.*
Yeso.....	Sulfate de cal.

Z

Zinc.....	Zinc.
Zumo de limon ó cidra.....	Acido cítrico.

Fin de la Sinonimia antigua y nueva.

Digitized by Google

SINONIMIA

NUEVA Y ANTIGUA POR ÓRDEN ALFABÉTICO.

A

Nombres nuevos.	*Nombres antiguos.*
Acero	Acero.
Acetates	Sales formadas por la combinacion del ácido acético ó vinagre radical con diferentes bases.
Acetites	Sales formadas por la combinacion del ácido acetoso ó vinagre destilado con diferentes bases.
Acetite aluminoso	Agrio de arcilla. Sal acetosa de arcilla.
Acetite amoniacal	Agrio amoniacal. Espíritu de Menderero. Sal acetosa amoniacal.
Acetite de amoniaca	Agrio amoniacal.
Acetite de arsénico	Licor fumante arsenical de Cadet.
Acetite de cal	Agrio calizo, ó calcareo. Sal acetosa caliza.
Acetite de cobre	Agrio de cobre. Verdete. Verdete destilado del comercio.
Acetite de cobre cristalizado	Cristales de Venus.
Acetite de hierro	Agrio marcial. Sal acetosa marcial.
Acetite de magnesia	Agrio de magnesia. Sal acetosa magnesiana.
Acetite de mercurio	Agrio mercurial. Tierra foliada mercurial.
Acetite de plomo	Agrio de plomo. Tinta simpática por el litargirio. Sal de Saturno.

Digitized by Google

Nombres nuevos.	*Nombres antiguos.*
Acetite de plomo.	Azucar de Saturno. Vinagre de Saturno.
Acetite de potasa.	Agrio de potasa. Tierra foliada de tártaro.
Acetite de sosa.	Agrio de sosa. Sal acetosa mineral. Tierra foliada cristalizada. Tierra foliada mineral.
Acetite de zinc.	Agrio de zinc. Sal acetosa de zinc.
Aceyte etereo.	Aceyte dulce del vino.
Aceytes empireumáticos.	Aceytes empireumáticos.
Aceytes fixos.	Aceytes dulces. Aceytes grasos. Aceytes por expresion.
Aceytes volátiles.	Esencias. Aceytes esenciales. Aceytes etereos.
Aceytes volátiles animales.	Aceytes animales.
Acido acetoso.	Acido acetoso. Vinagre destilada.
Acido acético.	Espíritu de Venus. Vinagre radical.
Acido de arsénico.	Acido arsenical.
Acido benzóico.	Acido benzóico. Acido de benjui. Sal de benjui.
Acido benzóico sublimado.	Flores de benjui. Sal volátil de benjui.
Acido bómbico.	Acido del gusano de seda.
Acido borácico.	Acido boracino. Acido de borrax. Acido sedativo. Sal sedativa. Sal volátil narcótica de vitriolo.
Acido borácico sublimado.	Sal sedativa sublimada.
Acido carbónico.	Acido aëreo. Acido atmosférico. Acido carbonoso. Acido gredoso. Acido mefitico.

Digitized by Google

Nombres nuevos.	*Nombres antiguos.*
Acido carbónico	Ayre fixado. Agua ayreada.
Acido canfórico	Acido del alcanfor.
Acido cítrico	Acido citroniano. Zumo de cidra.
Acido fluórico	Acido fluórico. Acido espático.
Acido fórmico	Acido de las hormigas. Acido formiano.
Acido fosfórico	Acido de la orina. Acido fosfórico. Acido forfórico deflogisticado.
Acido fosforoso	Acido fosfórico flogisticado. Acido fosfórico volátil.
Acido gállico, galaceo ó de agallas	Acido gállico. Principio astringente.
Acido láctico	Acido galáctico. Suero de leche agriado.
Acido lítico	Acido bezoárdico. Acido del cálculo. Acido litiásico.
Acido málico	Acido de las manzanas. Acido malusiano.
Acido molíbdico	Acido de la molibdena. Acido molíbdico.
Acido muriático	Acido de la sal marina. Acido marino. Espíritu de sal. Espíritu de sal fumante.
Acido muriático oxígenado	Acido marino ayreado. Acido marino deflogisticado.
Acido nitroso	Acido nitroso brillante. Acido nitroso flogisticado. Acido nitroso fumante. Espíritu de nitro fumante.
Acido nitroso del comercio	Agua fuerte.
Acido nítrico	Acido nitroso blanco. Acido nitroso deflogisticado. Acido nitroso sin gas.
Acido nítrico dilatado en agua	Espíritu de nitro.

Digitized by Google

Nombres nuevos.	*Nombres antiguos.*
Acido nitro-muriático	Acido regalino. Agua regia.
Acido oxálico	Acido de la acedera. Acido del azucar. Acido oxálino. Acido sacarino.
Acido prúsico	Materia colorante del azul de Prusia.
Acido pyro-leñoso	Espíritu ácido empireumático de madera.
Acido pyro-mucoso	Acido de almivar ó syruposo. Espíritu de miel, de azucar, &c.
Acido pyro-tartaroso	Espíritu de tártaro.
Acido saco-láctico	Acido del azucar de leche. Acido saclático.
Acido sebácico	Acido del sebo. Acido sibáceo.
Acido sucínico	Acido del sucino. Sal volátil de sucino.
Acido sucínico cristalizado	Sal de sucino.
Acido sulfúrico	Acido del azufre. Acido vitriólico. Aceyte de vitriolo.
Acido sulfuroso	Acido sulfuroso. Acido sulfuroso volátil. Acido viotriólico flogisticado. Espíritu de azufre.
Acido sulfúrico dilatado en agua	Espíritu de vitriolo.
Acido tartaroso	Acido de tártaro. Acido tartaroso.
Acido túnstico	Acido de la tunstena. Acido túnstico. Acido del Wolfram.
Acido úrico	Acido bezoárdico. Acido del cálculo. Acido litiásico.
Acidos dilatados en agua	Espíritus ácidos.
Agua de cal	Agua de cal.
Aguas impregnadas de ácido carbónico	Aguas acídulas. Aguas gaseosas.

Digitized by Google

Nombres nuevos.	*Nombres antiguos.*
Aguas sulfuradas.	Aguas epáticas.
Aguas sulfurosas.	
Alcohol.	Espíritu ardiente.
	Espíritu de vino.
Alcohol de potasa.	Lilium de paracelso.
	Tintura acre de tártaro.
Alcohol nítrico.	Espíritu de nitro dulcificado.
Alcohol resinoso.	Tintura espirituosa.
Alcalis.	Alcalis cáusticos.
	Alcalis en general.
Aligacion.	Aligacion de los metales.
Aligacion de cobre y de estaño.	Azofar.
	Bronce.
Aligacion de cobre y de zinc. .	Laton.
Alumina.	Arcilla pura.
	Base del alumbre.
	Tierra de alumbre.
Amalgama.	Amalgama.
Amoniaca.	Alcali orinoso.
	Alcali volátil.
	Alcali volátil cáustico.
	Alcali volátil fluor.
Amoniaca dilatada en agua. . .	Alcali volátil de sal amoniaco.
Antimonio.	Régulo de antimonio.
Arcilla, mezcla de alumina y de silica.	Arcilla.
	Greda.
	Tierra arcillosa.
	Tierra gredosa.
Aroma.	Espíritu rector.
	Principio oloroso.
Arseniate acídulo de potasa. . .	Sal neutra arsenical de Macq
Arseniate de amoniaca.	Amoniaco arsenical.
Arseniates.	Sales arsenicales.
Arsénico.	Régulo de arsénico.
Ayre atmosférico.	Ayre atmosférico.
Azucar de leche.	Sal de leche.
Azufre.	Azufre.
Azufre precipitado.	Magisterio de azufre.
Azufre sublimado.	Flores de azufre.

Digitized by Google

B

Nombres nuevos.	*Nombres antiguos.*
Barita	Barota. Tierra de espato pesado. Tierra pesada.
Benzoates	Sales formadas por la combinacion del ácido benzóico con diferentes bases.
Bismuto	Régulo de bismuto.
Bombiates	Sales formadas por la combinacion del ácido bómbico con diferentes bases.
Borates	Sales formadas por la combinacion del ácido borácico con diferentes bases.
Borate	Borrax.
Borate aluminoso	Borrax arcilloso.
Borate amoniacal	Borrax amoniacal. Sal amoniaco sedativa.
Borate de barita	Borrax pesado ó barótico.
Borate de mercurio	Borrax mercurial. Sal sedativa mercurial.
Borate de potasa	Borrax vegetal.
Borate de sosa	Borrax saturado de ácido borácico.
Borate saturado de sosa	Borrax en bruto. Borrax del comercio. Crisocola. Atincar.
Borate de zinc	Borrax de zinc.

Digitized by Google

C

Nombres nuevos.	*Nombres antiguos.*
Cal.	Cal viva.
	Tierra caliza.
Cal desleida en el agua.	Leche de cal.
Cal disuelta en el agua.	Agua de cal.
Calórico.	Calor fixado.
	Calor latente.
	Matéria del calor.
	Materia del fuego.
	Principio del calor.
	Principio del fuego.
	Principio inflamable.
Canforates.	Sales formadas por la combinacion del ácido canfórico con diferentes bases.
Carbonates.	Sales formadas por la combinacion del ácido carbónico con diferentes bases.
Carbonates alcalinos.	Alcalis efervescentes.
Carbonate amoniacal.	Alcali volátil concreto.
	Alcali volátil efervescente.
	Greda amoniacal.
	Mefito amoniacal.
	Sal amoniaco gredosa.
	Sal de Inglaterra.
	Sal volátil de Inglaterra.
Carbonate calizo.	Crema de cal.
	Espato calizo.
	Greda.
	Mefito calizo.
	Piedra caliza ó calcarea.
	Tierra caliza ayreada.
	Tierra caliza efervescente.
Carbonate de alumina.	Arcilla gredosa ó cretácea.

Digitized by Google

Nombres nuevos.	*Nombres antiguos.*
Carbonate de barita.....	Barota efervescente. Greda barótica ó pesada. Mefito barótico. Tierra pesada ayreada.
Carbonate de hierro.....	Azafran de Marte aperitivo. Greda marcial. Hierro ayreado. Mefito marcial. Orin de hierro.
Carbonate de magnesia.....	Greda magnesiana. Magnesia ayreada de Bergman. Magnesia blanca. Magnesia gredosa ó cretácea. Magnesia efervescente. Mefito de magnesia. Polvos del Conde de Palma. Polvos de Santinelli. Tierra magnesiana. Tierra muriática de Kirvan.
Carbonate de plomo.....	Greda de plomo. Mefito de plomo. Plomo espático.
Carbonate de potasa.....	Alkaest de Vanhelmont. Alcali fixo de tártaro no cáustico. Alcali fixo vegetal. Alcali fixo vegetal ayreado. Alcali fixo vegetal efervescente. Alcali vegetal ayreado. Mefito de potasa. Nitro fixado por sí mismo. Sal fixa de tártaro. Tártaro gredoso ó cretáceo. Tártaro mefítico.
Carbonate de potasa impuro..	Potasa del comercio.
Carbonate de sosa.....	Alcali fixo mineral ayreado. Alcali fixo mineral efervescente. Alcali marino no cáustico. Alcali mineral ayreado. Alcali mineral efervescente. Base de sal marina.

Digitized by Google

Nombres nuevos.	*Nombres antiguos.*
Carbonate de sosa	Cristales de sosa. Greda de sosa. Mefito de sosa. Natron. Natrum. Sosa ayreada. Sosa gredosa ó cretácea. Sosa efervescente.
Carbonate de zinc	Greda de zinc. Mefito de zinc.
Carbono	Carbon puro. Principio carbonoso.
Carburo de hierro	Plombagina, ó lapiz-plomo.
Citrates	Sales formadas por la combinacion del ácido cítrico con diferentes bases.
Cobalto	Cobalto. Cobolto. Régulo de cobalto.
Cobre	Cobre. Venus.

D

Disolucion de sosa	Lexía de xaboneros.

E

Estaño	Estaño. Júpiter.
Ether	Ether.

Digitized by Google

Nombres nuevos.	*Nombres antiguos.*
Ether acético	Ether acetoso.
Ether muriático	Ether marino.
Ether nítrico	Ether nitroso.
Ether sulfúrico	Ether vitriólico.
Extractivo (el)	Extracto.

F

Féculas	Féculas de las plantas.
Fluates	Sales formadas por la combinacion del ácido fluórico con diferentes bases.
Fluate amoniacal	Amoniaco espático. Espato amoniacal. Fluor amoniacal. Sal amoniacal espática.
Fluate de alumina	Arcilla hepática. Fluor arcillosa.
Fluate de barita	Fluor barótico. Fluor pesado.
Fluate de cal	Fluor espático. Espato cúbico. Espato fluor. Espato fosfórico. Espato vidrioso.
Fluate de magnesia	Fluor de magnesia. Magnesia espática. Magnesia fluorada.
Fluate de potasa	Fluor tartaroso. Tártaro espático.
Fluate de sosa	Fluor de sosa. Sosa espática.
Fomiates	Sales formadas por la combinacion del ácido fórmico con diferentes bases.

Digitized by Google

Nombres nuevos.	*Nombres antiguos.*
Fosfates	Sales formadas por la combinacion del ácido fosfórico con diferentes bases.
Fosfate calizo ó de cal	Tierra animal. Tierra de huesos.
Fosfate de hierro	Hierro de agua. Mina de hierro de los pantanos. Syderite.
Fosfate de mercurio	Precipitado rosado de mercurio.
Fosfate de sosa y de amoníaca	Sal fusible de la orina. Sal nativa de la orina.
Fosfate de sosa sobresaturado. **Fosfate saturado de sosa**	Sal admirable perlada.
Fosfites	Sales formadas por la combinacion del ácido fosforoso con diferentes bases.
Fósforo	Fósforo de Kunkel.
Fosforetos	Combinaciones del fósforo no oxîgenado con diferentes bases.
Fosforeto de hierro	Régulo de syderite. Syderum de Bergman. Siderotete de Morveau.

G

Gas	Fluidos aëriformes. Fluidos elásticos. Gas.
Gas ácido acetoso	Gas ácido acetoso.
Gas ácido carbónico	Ayre facticio. Ayre fixo. Ayre sólido de Hales. Gas ácido gredoso ó cretáceo. Gas mefítico. Gas silvestre. Spiritus sylvestris.

Digitized by Google

Nombres nuevos.	*Nombres antiguos.*
Gas ácido fluórico.....	Gas ácido fluórico. Gas ácido espático.
Gas ácido muriático.....	Ayre marino. Gas ácido marino. Gas ácido muriático.
Gas ácido muriático oxîgenado.	Gas ácido muriático ayreado. Gas ácido marino deflogisticado.
Gas ácido nitroso.....	Gas ácido nitroso.
Gas ácido sulfuroso.....	Ayre ácido vitriólico. Gas ácido sulfuroso. Gas ácido vitriólico.
Gas amoniacal.....	Ayre alcalino. Espíritu alcalino volátil. Gas alcali volátil. Gas alcalino.
Gas azótico.....	Ayre corrompido. Ayre flogisticado. Ayre viciado. Gas atmosférico. Gas flogisticado. Mofeta atmosférica.
Gas hidrógeno.....	Ayre inflamable. Gas inflamable. Flogisto de Kirvan.
Gas hidrógeno carbonado....	Gas inflamable carbonado. Gas inflamable carbonoso.
Gas hidrógeno carbónico.....	Gas inflamable carbónico.
Gas hidrógeno de las lagunas.	Ayre inflamable de las lagunas. Gas inflamable de las lagunas. Gas inflamable mofetizado.
Gas hidrógeno fosforado.....	Gas inflamable fosforado. Gas fosfórico.
Gas hidrógeno sulfurado.....	Ayre de mal olor del azufre. Gas hepático. Gas inflamable sulfurado.
Gas muriático oxîgenado.....	Gas ácido marino deflogisticado. Gas ácido muriático ayreado.
Gas nitroso.....	Gas nitroso.

Digitized by Google

Nombres nuevos.	*Nombres antiguos.*
Gas oxîgeno.	Ayre deflogisticado. Ayre del fuego de Scheele. Ayre puro. Ayre vital.
Glutem ó el Glutinoso.	Gluten de la harina del trigo. Materia vegeto-animal.

H

Hierro.	Hierro. Marte.

L

Lactates.	Sales formadas por la combinacion del ácido láctico, ó del ácido del suero agrio, con diferentes bases.
Litargirio.	Litargirio.
Litiates.	Sales formadas por la combinacion del acido lítico, ó del ácido de la piedra de la vexiga, con diferentes bases.

Digitized by Google

M

Nombres nuevos.	*Nombres antiguos.*
Malates	Sales formadas por la combinacion del ácido málico, ó del ácido de las manzanas, con diferentes bases.
Manganeso	Régulo de manganesa.
Mercurio	Mercurio. Azogue.
Minium	Minium.
Molibdates	Sales formadas por la combinacion del ácido molíbdico, con diferentes bases.
Molibdeno	Régulo de molibdena.
Mucoso (lo)	Mucilago.
Muriates	Sales formadas por la combinacion del ácido muriático con diferentes bases.
Muriate calizo	Aceyte de cal.
Muriate calizo seco	Fósforo de Homberg.
Muriate de alumina	Alumbre marino. Sal marina arcillosa.
Muriate de amoniaca	Sal amoniaco.
Muriate de antimonio fumante.	Manteca de antimonio.
Muriate de arsénico sublimado.	Manteca de arsénico.
Muriate de barita	Sal marina barótica.
Muriate de bismuto sublimado.	Manteca de bismuto.
Muriate de cal	Agua madre de la sal marina. Sal amoniaco fixa. Sal marina caliza.
Muriate de cobalto	Tinta simpática por el cobalto.
Muriate de cobre amoniacal sublimado	Flores amoniacales cobrosas.
Muriate de estaño	Estaño córneo. Sal de Júpiter.

Digitized by Google

Nombres nuevos.	*Nombres antiguos.*
Muriate de estaño concreto...	Estaño córneo. Manteca de estaño sólida de Baumé.
Muriate de estaño fumante....	Licor fumante de Libavio.
Muriate de estaño sublimado..	Manteca de estaño.
Muriate de hierro amoniacal sublimado.....	Flores amoniacales marciales.
Muriate de magnesia.....	Sal marina con base de magnesia.
Muriate de mercurio corrosivo.	Sublimado corrosivo ó soliman.
Muriate de mercurio dulce....	Sublimado dulce.
Muriate de mercurio dulce sublimado.....	Aquila alba.
Muriate de mercurio y de amoniaca.....	Sal Alembroth. Sal de la sabiduría.
Muriate de mercurio por precipitacion.....	Muriate precipitado blanco.
Muriate de oro.....	Muriate de oro. Sal regalina de oro.
Muriate de plata.....	Plata córnea. Luna córnea.
Muriate de platino.....	Muriate de platina. Sal regalina de platina.
Muriate de plomo.....	Plomo córneo.
Muriate de potasa.....	Sal febrífuga de Silvio.
Muriate de sosa.....	Sal comun. Sal marina.
Muriate de sosa fosil.....	Sal gema.
Muriate de zinc sublimado....	Manteca de zinc.
Muriates oxígenados.....	Sales formadas por la combinacion del ácido muriático oxígenado con la potasa y la sosa, descubiertas por Bertholet.

Digitized by Google

N

Nombres nuevos.	*Nombres antiguos.*
Nickel	Régulo de nickel.
Nitrates	Sales formadas por la combinacion del ácido nítrico con diferentes bases.
Nitrate de alúmina	Alumbre nitroso. Nitro de arcilla.
Nitrate amoniacal	Nitro amoniacal. Sal amoniacal nitrosa.
Nitrate de barita	Nitro barótico. Nitro de tierra pesada.
Nitrate de cal	Agua madre del nitro. Nitro calizo ó calcáreo.
Nitrate de plata	Nitro lunar. Nitro de plata. Cristales de luna.
Nitrate de plata fundida	Piedra infernal.
Nitrate de potasa	Nitro. Salitre. Sal de nitro.
Nitrate de sosa	Nitro cúbico. Nitro quadrangular. Nitro romboidal.
Nitro	Nitro. Salitre. Sal de nitro.
Nitrites	Sales formadas por la combinacion del ácido nitroso con diferentes bases.
Nitrite calizo seco	Fósforo de Baudouin.
Nitrite de alumina	Alumbre nitroso.
Nitro muriates	Sales formadas por la combinacion del ácido nitro-muriático con diferentes bases.

Digitized by Google

O

Nombres nuevos.	*Nombres antiguos.*
Oro	Oro. Sol.
Oxâlates	Sales formadas por la combinacion del ácido oxálico con diferentes bases.
Oxâlate acídulo de potasa	Sal de acederas del comercio.
Oxîdo arsenical de potasa	Hígado de arsénico.
Oxîdo de antimonio blanco por el nitro	Alvayalde de antimonio. Antimonio diaforético. Sustancia perlada de Kerkringio.
Oxîdo de antimonio blanco sublimado	Flores de antimonio. Flores argentinas de régulo de antimonio. Nieve de antimonio.
Oxîdo de antimonio por el ácido muriático	Polvos de Algaroth.
Oxîdo de antimonio por los ácidos muriático y nítrico	Bezoárdico mineral.
Oxîdo de antimonio sulfurado.	Hígado de antimonio.
Oxîdo de antimonio sulfurado semi-vítreo	Azafran de los metales. *Crocus metallorum.*
Oxîdo de antimonio sulfurado anaranjado	Azufre dorado de antimonio.
Oxîdo de antimonio sulfurado rubro	Kermes mineral.
Oxîdo de antimonio sulfurado vítreo	Vidrio de antimonio.
Oxîdo de antimonio sulfurado viíreo fusco	Rubí de antimonio.
Oxîdo de arsénico	Arsénico blanco. Cal de arsénico.
Oxîdo de arsénico blanco	Arsénico blanco. Cal de arsénico.

Digitized by Google

Nombres nuevos.	*Nombres antiguos.*
Oxîdo de arsénico blanco sublimado	Flores de arsénico.
Oxîdo de arsénico sulfurado amarillo	Arsénico amarillo.
	Oropimente.
Oxîdo de arsénico sulfurado amarillo y cal, disueltos en el agua	Tinta de simpatia por el oropimente y la cal.
Oxîdo de arsénico sulfurado rubro	Arsénico rubro ó roxo.
	Realgal.
	Rejalgar.
	Sandaraca.
Oxîdo de bismuto blanco por el ácido nítrico	Blanco para afeytes.
	Magisterio de bismuto.
Oxîdo de bismuto sublimado	Flores de bismuto.
Oxîdo de cobalto gris con pedernal ó safra	Safra.
Oxîdo de cobalto vítreo	Azul de vidrio.
	Esmalte.
	Esmalte de plateros.
Oxîdo de cobre verde	Cardenillo.
	Herrumbre de cobre.
	Orin de cobre.
Oxîdo de estaño gris	Cal de estaño.
	Potea de estaño.
Oxîdo de estaño sublimado	Flores de estaño.
Oxîdo de hierro	Azafran de Marte.
	Cales marciales.
Oxîdo de hierro fusco	Azafran de Marte astringente.
Oxîdo de hierro amarillo	Ocre.
Oxîdo de hierro negro	Etiope marcial.
Oxîdo de hierro rubro	Almagre.
	Almazarron.
	Colcotar.
Oxîdo de manganeso blanco	Cal blanca de manganesa.
Oxîdo de manganeso negro	Alabandina.
	Magnesia negra.
	Manganesa.
	Piedra de Perigueux.
	Xabon de las fábricas de cristales.
Oxîdo de manganeso y potasa	Camaleon mineral.

Digitized by Google

Nombres nuevos.	*Nombres antiguos.*
Oxîdo de mercurio amarillo por el ácido nítrico.....	Turbit nitroso.
Oxîdo de mercurio amarillo por el ácido sulfúrico.....	Precipitado amarillo. Turbit mineral.
Oxîdo de mercurio negro.....	Etiope per se.
Oxîdo de mercurio rubro por el ácido nítrico.....	Polvos de Juanes. Precipitado roxo ó rubro.
Oxîdo de mercurio rubro por el fuego.....	Precipitado per se.
Oxîdo de mercurio sulfurado negro.....	Etiope mineral.
Oxîdo de mercurio sulfurado rubro.....	Cinabrio. Bermellon.
Oxîdo de oro amoniacal.....	Oro fulminante.
Oxîdo de oro por el estaño....	Purpura de Casio. Precipitado de Casio. Precipitado de oro por el estaño.
Oxîdo de plomo.....	Cal de plomo.
Oxîdo de plomo amarillo.....	Cal de plomo amarilla. Masicot.
Oxîdo de plomo blanco por el ácido acetoso.....	Blanco de plomo.
Oxîdo de plomo blanco por el ácido acetoso mezclado con greda.....	Alvayalde. Cerusa.
Oxîdo de plomo encarnado ó minio.....	Minio. Azarcon.
Oxîdo de plomo precipitado...	Magisterio de plomo.
Oxîdo de plomo semivítreo ó litargirio.....	Almártega, ó almartaga, ó almártiga. Litargirio de oro y plata.
Oxîdo de zinc sublimado.....	Flores de zinc. Lana filosófica. Pompholix. Algodon filosófico.
Oxîdos metálicos.....	Cales metálicas.
Oxîdos metálicos sublimados..	Flores metálicas.
Oxîgeno.....	Base del ayre puro. Base del ayre vital. Empyreo. Oxîgeno.

Digitized by Google

Nombres nuevos.	*Nombres antiguos.*
Oxígeno	Principio acidificante. Principio sorbil de Ludbock.

P

Plata	Argento. Plata. Diana. Luna.
Platino	Juan blanca. Platina de Pinto. Platina. Oro blanco.
Plomo	Plomo. Saturno.
Potasa	Alcali fixo del tártaro cáustico. Alcali fixo vegetal cáustico. Alcali vegetal. Alcali vegetal cáustico.
Potasa fundida	Piedra de cauterio.
Potasa mezclada con carbonate de potasa en deliqüescencia.	Aceyte de tártaro por deliquio.
Potasa mezclada con oxîdo de zinc	Alkaest de Respour.
Potasa silícea en licor	Licor de pedernales.
Principio hipotético de Beccher.	Mercurio de los metales. Principio mercurial.
Principio hipotético de Meyer.	Causticum.
Principio hipotético de Stahl	Flogisto.
Prusiates	Sales formadas por la combinacion del ácido prúsico, ó parte colorante del azul de Prusia, con diferentes bases.
Prusiate de hierro	Azul de Berlin. Azul de Prusia.
Prusiate de potasa	Licor saturado de la parte colorante del azul de Prusia.

Digitized by Google

Nombres nuevos.	*Nombres antiguos.*
Prusiate de potasa ferruginoso no saturado	Alcali flogisticado.
Prusiate de potasa ferruginoso saturado	Alcali prusiano.
Pyro-lignites	Sales formadas por la combinacion del ácido pyro-lígnico con diferentes bases.
Pyro-mucites	Sales formadas por la combinacion del ácido pyro-múcico con diferentes bases.
Pyro-tartrites	Sales formadas por la combinacion del ácido pyro-tartaroso con diferentes bases.
Pyróforo de Homberg	Pyróforo de Homberg.

S

Saco-lates	Sales formadas por la combinacion del ácido saccho-láctico con diferentes bases.
Safre	Safre.
Sebates	Sales formadas por la combinacion del ácido sebácico, ó del ácido de la grasa con diferentes bases.
Sebate de potasa	Sal de Segner.
Silíca ó tierra silicea	Tierra silicea.
Sosa	Alcali marino. Alcali marino cáustico. Alcali mineral. Alcali mineral cáustico. Base de la sal marina. Lexía de xaboneros. Sosa cáustica.
Sucino	Ambar amarillo. Electro.

Digitized by Google

Nombres nuevos.	*Nombres antiguos.*
Sucino	Karabé. Succino.
Sucinates	Sales formadas por la combinacion del ácido sucínico con diferentes bases.
Sulfates	Sales formadas por la combinacion del ácido sulfúrico con diferentes bases.
Sulfate amoniacal	Sal amoniacal vitriólica. Sal amoniacal secreta de Glaubero. Vitriolo amoniacal.
Sulfate calizo	Espejuelo de yeso.
Sulfate de alumina	Alumbre. Piedra alumbre. Vitriolo de arcilla. Xebe.
Sulfate de antimonio	Vitriolo de antimonio.
Sulfate de arsénico	Vitriolo de arsénico.
Sulfate de barita	Espato pesado. Vitriolo barótico.
Sulfate de bismuto	Vitriolo de bismuto.
Sulfate de cal	Selenita. Vitriolo calizo. Vitriolo de cal. Yeso.
Sulfate de cobalto	Vitriolo de cobalto.
Sulfate de cobre	Caparrosa azul. Piedra lipis. Vitriolo azul. Vitriolo de Chipre. Vitriolo de cobre. Vitriolo de Venus.
Sulfate de estaño	Vitriolo de estaño.
Sulfate de hierro (poco conocido)	Sal de colcothar.
Sulfate de hierro	Alcaparrosa. Caparrosa verde. Vitriolo de hierro. Vitriolo de Marte. Vitriolo marcial.

Digitized by Google

Nombres nuevos.	*Nombres antiguos.*
Sulfate de hierro	Vitriolo verde.
Sulfate de magnesia	Sal catártica amarga. Sal de la higuera. Sal de Bacia-Madrid. Sal de Epsom. Sal de Sedlítz. Sal de seydschutz. Vitriolo de magnesia.
Sulfate de manganeso	Vitriolo de manganesa.
Sulfate de mercurio	Vitriolo de mercurio ó de azogue.
Sulfate de nickel	Vitriolo de nickel.
Sulfate de plata	Vitriolo de plata. Vitriolo de luna.
Sulfate de plomo	Vitriolo de plomo.
Sulfate de potasa	Arcano duplicado. Sal de duobus. Sal polycresta de Glaser. Tártaro vitriolado. Vitriolo de potasa.
Sulfate de sosa	Sal de Glaubero. Vitriolo de sosa.
Sulfate de zinc	Caparrosa blanca. Gilla vitrioli. Vitriolo blanco. Vitriolo de Goslard. Vitriolo de zinc.
Sulfites	Sales formadas por la combinacion del ácido sulfuroso con diferentes bases.
Sulfite de potasa	Sal sulfurea de Stahl.
Sulfuretos	Hígados de azufre. Hépares.
Sulfuretos alcalinos	Hígados de azufre alcalinos. Hépares alcalinos.
Sulfureto amoniacal	Hígado de azufre alcalino volátil. Licor fumante de Boyle.
Sulfuretos calizos	Hígados de azufre calizos.
Sulfureto de aceyte fixo Sulfureto de aceyte volátil	Bálsamo de azufre.

Digitized by Google

Nombres nuevos.	*Nombres antiguos.*
Sulfureto de alumina carbonado.	Pyróforo de Homberg.
Sulfureto de antimonio.	Alcohol. Antimonio.
Sulfureto de antimonio nativo.	Mina de alcohol. Mina de antimonio.
Sulfureto de barita.	Hígado de azufre barítico.
Sulfureto de cobre.	Pirita de cobre.
Sulfureto de hierro.	Marquesita. Pirita marcial.
Sulfureto de magnesia.	Hígado de azufre de magnesia.
Sulfureto de plata.	Blanckmal.
Sulfureto de potasa.	Hígado de azufre con base de álcali vegetal.
Sulfureto de potasa antimoniado.	Hígado de azufre antimoniado.
Sulfureto de sosa.	Hígado de azufre con base de álcali fixo mineral.
Sulfureto de sosa antimoniado.	Hígado de azufre antimoniado.
Sulfureto de zinc.	Blenda ó falsa galena.
Sulfuretos metálicos.	Combinaciones del azufre con los metales.
Sulfuretos terreos.	Hépares terreos. Hígados de azufre terreos.

T

Tártaro.	Heces de vino. Rasuras rubras. Rasuras blancas. Tártaro blanco. Tártaro rubro. Tártaro crudo.
Tartrites.	Sales formadas por la combinacion del ácido tartaroso con diferentes bases.

Digitized by Google

Nombres nuevos.	*Nombres antiguos.*
Tartrite acídulo de potasa....	Cremor de tártaro. Cristales de tártaro. Tártaro.
Tartrite amoniacal.....	Tártaro amoniacal. Sal amoniacal tartarosa.
Tartrite de cal.....	Tártaro calizo ó calcáreo.
Tartrite de plomo.....	Tártaro saturnino ó de Saturno.
Tartrite de potasa.....	Sal vegetal. Tártaro de potasa. Tártaro soluble. Tártaro tartarizado.
Tartrite de potasa antimoniado.	Emético. Tártaro antimoniado. Tártaro emético. Tártaro estibiado.
Tartrite de potasa ferruginoso.	Tártaro Chálibeado. Tártaro marcial soluble.
Tartrite de potasa sobre compuesto de antimonio.....	Tártaro tartarizado que contiene antimonio.
Tartrite de sosa.....	Sal de Seignette. Sal policresta de la Rochela. Tártaro de sosa.
Tierra silícea.....	Tierra siliciosa.
Tunsten.....	Wolfran de Delhuyar.
Tunstates.....	Sales formadas por la combinacion del ácido túnstico con diferentes bases.
Tunstate calizo.....	Piedra pesada.

X

Xabones.....	Combinaciones de los aceytes grasos ó fixos con diferentes bases.
Xabones ácidos.....	Combinaciones de los aceytes grasos ó fixos con diferentes ácidos.

Digitized by Google

Nombres nuevos.	*Nombres antiguos.*
Xabones metálicos.....	Combinaciones de los aceytes grasos ó fixos con las diferentes sustancias metálicas.
Xaboncillos.....	Combinaciones de los aceytes volátiles ó esenciales con diferentes bases.
Xaboncillos ácidos.....	Combinaciones de los aceytes volátiles ó esenciales con los diferentes ácidos.
Xaboncillos metálicos.....	Combinaciones de los aceytes volátiles ó esenciales con las diferentes sustancias metálicas.
Xaboncillo de potasa.....	Xabon de Starkey.

Z

Zinc.....	Régulo de la piedra calaminar. Zinc.

Fin de la Sinonimia nueva y antigua.

Digitized by Google

TABLA

DE LOS CAPÍTULOS.

Las cifras indican los artículos y no las páginas.

PRINCIPIOS DE FÍSICA..... Artículo 1

CAPÍTULO PRIMERO.

De las propiedades generales de los cuerpos..... 4
Extension..... 6
Divisibilidad..... 7
Figurabilidad..... 10
Impenetrabilidad..... 11
Porosidad..... 15
Rarefactibilidad..... 22
Condensabilidad..... 23
Compresibilidad..... 24
Elasticidad..... 31
Dilatabilidad..... 39
Movilidad..... 40
Inercia..... 41

CAPÍTULO II.

Del movimiento y de sus leyes..... 46
1. *Fuerza motriz*..... 49
Fuerza muerta..... 50
Fuerza viva..... 51
2. *Masa de los cuerpos*..... 52
3. *Direccion de los movimientos*..... 53
4. *Espacio corrido*..... 54
5. *Tiempo empleado*..... 55
6. *Velocidad*..... 56
Velocidad uniforme..... 57
Velocidad acelerada..... 58
Velocidad retardada..... 59
Velocidad absoluta..... 60

Digitized by Google

Velocidad relativa..... 61
Velocidad respectiva..... 62
7. *Cantidad de movimiento*..... 63
Movimiento absoluto..... 65
Movimiento relativo..... 66
Movimiento simple..... 67
Movimiento compuesto..... 68
Movimiento rectilíneo..... 69
Movimiento curvilíneo..... 70
Movimiento reflexo..... 71
Movimiento refracto..... 72
Leyes del movimiento..... 73
I. *Ley del movimiento simple*..... 74
Resistencias de los intermedios ó de los fluidos..... 76
Resistencia de los rozamientos ó fricciones..... 96
II. *Ley del movimiento simple*..... 111
III. *Ley del movimiento simple*..... 112

CAPÍTULO III.

De las causas que mudan la direccion del movimiento.... 113
Variacion de direccion ocasionada por una materia fluida; ó refraccion..... 114
Variacion de direccion ocasionada por un obstáculo impenetrable y fixo; ó reflexion..... 128
Variacion de velocidad y de direccion ocasionada por un obstáculo impenetrable, y que puede ser desalojado; ó choque de los cuerpos..... 136
Choque de los cuerpos no elásticos..... 141
Choque de los cuerpos elásticos..... 148

CAPÍTULO IV.

De las leyes del movimiento compuesto..... 159
Ley del movimiento compuesto..... 160
Movimiento compuesto en línea recta..... 161
Movimiento compuesto en línea curva..... 168

CAPÍTULO V.

De las fuerzas centrales..... 172

Digitized by Google

CAPÍTULO VI.

De la gravedad ó gravitacion de los cuerpos..... 194

CAPÍTULO VII.

De la pesantez de los cuerpos..... 198
Fenómenos en donde la pesantez obra sola sobre los cuerpos..... 200
Fenómenos en los que el movimiento está compuesto de la pesantez y de alguna otra potencia..... 228
Caida de los cuerpos por los planos inclinados..... 231
Movimiento de obscilacion..... 258
Movimiento de proyeccion..... 270

CAPÍTULO VIII.

De la Hidrodinámica..... 277
De la Hidrostática, ó de la pesantez y del equilibrio de los fluidos..... 278
Pesantez y equilibrio de un fluido solo y homogéneo..... 283
Pesantez y equilibrio de muchos fluidos cuyas densidades son diferentes..... 297
Pesantez y equilibrio de los sólidos sumergidos en los fluidos..... 315
Fenómenos de los tubos capilares..... 343
De la Hidráulica, ó del movimiento de los fluidos..... 358
Salida de los fluidos ó líquidos por orificios pequeños..... 359
Evacuaciones de los fluidos ó líquidos por tubos ó caños aditicios..... 381
De los surtidores..... 398
De las bombas..... 410
Movimiento de las aguas por los encañados..... 434
Movimiento de obscilacion del agua en un sifon..... 444
Movimiento de obscilacion del agua en las ondas..... 447
Movimiento de las ruedas movidas por el choque del agua..... 451
Movimiento de las ruedas movidas por el peso del agua. 458

Digitized by Google

CAPÍTULO IX.

De la Mecánica estática..... 464
De la Palanca..... 475
De la Polea..... 494
De las Ruedas..... 510
De la Cabria..... 523
Del Cabrestante..... 529
Del Cric ó Gato..... 536
Del Plano inclinado..... 539
De la Cuña..... 547
De la Rosca ó tornillo..... 553
De la Rosca sin fin..... 559
De la Rosca de Arquimedes..... 567
De la resistencia que sufren las máquinas quando estan próximas á moverse..... 570
De la rigidez de las cuerdas..... 572

CAPÍTULO X.

De los fluidos elásticos..... 587
Bases de los fluidos elásticos..... 609
Composicion de los ácidos, &c...... 626
Fluidos elásticos vivificantes..... 642
Ayre atmosférico..... 643
Ayre puro ó vital llamado gas oxigeno..... 647
Fluidos elasticos sofocantes..... 671
Gases no salinos..... 672
Gas arzótico..... 673
Gas nitroso..... 69
Gas muriático oxigenado..... 715
Gases salinos..... 732
Gas ácido carbónico..... 733
Gas ácido muriático..... 765
Gas ácido sulfuroso..... 784
Gas ácido fluorico..... 793
Gas amoniacal..... 802
Gases hidrógenos ó inflamables..... 813
Gas hidrógeno puro..... 830
Gas hidrógeno sulfurado..... 852
Gas hidrógeno fosforado..... 800

Digitized by Google

Gas hidrógeno carbonado..... 866
Gas hidrógeno carbónico..... 872
Gas hidrógeno de las lagunas..... 877
Pesos específicos de los fluidos elásticos..... 882

CAPÍTULO XI.

De las propiedades del ayre..... 884
El ayre considerado en sí mismo..... 886
El ayre considerado como atmósfera terrestre..... 951
La atmósfera considerada como un fluido en reposo.. 954
La atmósfera considerada como un fluido agitado..... 989
Del sonido..... 990
De los vientos..... 1028

CAPÍTULO XII.

De las propiedades del agua..... 1038
El agua considerada en estado de líquido..... 1040
El agua considerada en el estado de vapor..... 1060
El agua considerada en el estado de yelo..... 1067

CAPÍTULO XIII.

De la naturaleza y de las propiedades del fuego..... 1097
De la naturaleza del fuego..... 1099
De los medios por los quales se puede excitar la accion del fuego..... 1108
Del modo con que se propaga la accion del fuego... 1124
De los efectos del fuego sobre los cuerpos..... 1131
De los medios de aumentar ó de disminuir la accion del fuego..... 1151
Del enfriamiento..... 1160

CAPÍTULO XIV.

De la naturaleza y de las propiedades de la luz..... 1171
De la propagacion de la luz..... 1176
De las direcciones que sigue la luz en sus diferentes movimientos..... 1181
De los principios de Óptica..... 1185
De los principios de la Catóptrica..... 1214

Digitized by Google

Del Espejo plano..... 1236
Del Espejo prismático..... 1244
Del Espejo piramidal..... 1245
Del Espejo convexô..... 1246
Del Espejo cóncavo..... 1250
Del Espejo elíptico..... 1263
Del Espejo parabólico..... 1264
Del Espejo cilíndrico..... 1265
Del Espejo cónico..... 1271
De los principios de Dióptrica..... 1276
De las Lentes..... 1353
De las Lentes cóncavas..... 1363
De los colores..... 1367
Teoría de los colores..... 1371
Experimentos en los quales está fundada la teoría de los colores..... 1395
De los colores considerados en los objetos que nos los hacen ver..... 1474

CAPÍTULO XV.

De la vision de los objetos..... 1492
De la vision natural..... 1496
De la vision artificial y de los instrumentos de Óptica.. 1554
De los anteojos..... 1556
De los polemóscopos..... 1560
De las máquinas ópticas..... 1562
De la Cámara obscura..... 1564
De los Telescopios dióptricos..... 1572
Telescopio de Galileo..... 1577
Telescopio astronómico..... 1588
Telescopio aëreo..... 1601
Telescopio terrestre, ó anteojo de largavista..... 1610
Anteojo de largavista de noche..... 1618
De los Telescopios catadióptricos..... 1621
Telescopio Neutoniano..... 1625
Telescopio Grègoriano..... 1631
Telescopio de Cassegrain..... 1636
Telescopio de Santiago Le Maire..... 1641
De los anteojos acromáticos..... 1645
De los Microscopios..... 1656
Microscopio simple..... 1658

Digitized by Google

Microscopio compuesto..... 1664
Microscopio solar..... 1670

CAPÍTULO XVI.

De la Astronomía física..... 1676
De los fenómenos celestes, segun el sistema de Copérnico. 1709
De las Estrellas..... 1710
Del Sol..... 1738
De los Planetas..... 1756
De los planetas primarios..... 1778
De los planetas secundarios..... 1855
De los Cometas..... 1893
De los movimientos de la Tierra, del Sol y de la Luna, y de los fenómenos que resultan de ellos..... 1899
De la Tierra..... 1900
De las Estaciones..... 1934
Del Sol..... 1939
De la luz zodiacal..... 1952
De la division del tiempo..... 1959
De la Luna..... 1991
De los Eclipses..... 2007

CAPÍTULO XVII.

Del Fluxo y Refluxo..... 2032
Teoría de las mareas..... 2053

CAPÍTULO XVIII.

Del Magnetismo..... 2083
Atraccion magnética..... 2091
Repulsion magnética..... 2104
Direccion magnética..... 2110
Declinacion magnética..... 2112
Inclinacion magnética..... 2117
Comunicacion de la virtud magnética..... 2121
Método de Knigt..... 2127
Método de Canton..... 2128
Método de Mitchell..... 2133
Método de Pedro Le Maire..... 2139
Método de Duhamel..... 2140

Digitized by Google

Método de Antheaume..... 2151
Modo de magnetizar sin iman..... 2155
Método de Canton..... 2156
Método de Mitchell..... 2158
Método de Antheaume..... 2162
Ventajas de los imanes artificiales..... 2165
Quales son las clases de azero que es preciso emplear preferiblemente para hacer imanes artificiales..... 2170
De la Brúxula..... 2180
De las causas de las propiedades magnéticas..... 2187
Teoría del magnetismo de Æpino..... 2197

CAPÍTULO XIX.

De la Electricidad..... 2217
De la naturaleza de la virtud eléctrica..... 2222
De los medios de excitar la virtud eléctrica..... 2237
De las señales con que se manifiesta la virtud eléctrica.. 2247
De los principales instrumentos que sirven para producir los fenómenos eléctricos..... 2249
De los fenómenos eléctricos..... 2273
Teoría de la electricidad de Dufay..... 2305
Teoría de la electricidad del Abate Nollet..... 2329
Teoría de la electricidad de Jallabert..... 2370
Teoría de la electricidad de Francklin..... 2398
Teoría de la electricidad de Æpino..... 2459
Proposiciones fundamentales..... 2508
Explicacion de los fenómenos..... 2544
Analogía entre los efectos del trueno y los de la electricidad..... 2597
Auroras boreales..... 2606
De las Mangas ó Bombas marinas..... 2610

FIN DE LA TABLA DE LOS CAPÍTULOS.

Digitized by Google

TRATADO ELEMENTAL DE FÍSICA.

1 La Física es la mas extensa de todas las ciencias; pues que tiene por objeto todos los cuerpos de la naturaleza. Con respecto á esto, solo se puede comparar con ella, á lo mas, la Historia natural; y aun el objeto de esta no es tan general, pues que solo trata de las sustancias terrestres; quando el dominio de la Física no está limitado únicamente á la tierra, sino que se extiende hasta los cielos.

2 El objeto de la Física, y principalmente el de la experimental, que es de la que tratamos, es conocer los fenómenos de la naturaleza, y manifestar las causas de ellos con pruebas de hecho: con los hechos pues es con lo que adquirimos el conocimiento de los fenómenos y otros hechos nos manifiestan las causas de ellos.

3 Sin embargo, hay algunos hechos cuyas causas ignoramos enteramente, pues no todo lo sabemos ni con mucho. Aquellos que siempre son uniformes, y siempre constantes, son á los que los Físicos llaman *Propiedades*; de las que se valen para dar razon de un gran número de fenómenos. No todas las propiedades de los cuerpos nos son conocidas, de lo que es prueba el descubrirse otras nuevas de tiempo en tiempo; ¿y quién podrá asegurar haber descubierto la última? Entre las que estan conocidas, las unas pertenecen indistintamente á todos los cuerpos; y las otras nada mas que á ciertos cuerpos exclusivamente á otros. Las primeras se llaman

Digitized by Google

Propiedades generales: tales son la *Extension*, la *Divisibilidad*, la *Figurabilidad*, la *Impenetrabilidad*, la *Porosidad*, la *Rarefactibilidad*, la *Condensavilidad*, la *Compresibilidad*, la *Elasticidad*, la *Dilatabilidad*, la *Movilidad*, y la *Inercia*; y las segundas *Propiedades particulares*: tales son la *Maleabilidad*, la *Fluidez*, la *Liquidez*, &c.

Trataremos primero de las propiedades generales, y despues de las particulares.

CAPÍTULO PRIMERO.

DE LAS PROPIEDADES GENERALES DE LOS CUERPOS.

4 Se llama cuerpo á todas las sustancias materiales de cuya reunion resulta la composicion del universo; y que se nos manifiestan por medio de alguno de nuestros sentidos.

5 No se puede conocer las propiedades de los cuerpos mas que por la experiencia; así pues, debemos mirar como propiedades generales las que se encuentra en todos los cuerpos, y que nuestros sentidos nos hacen percibir.

Extension.

6 Lo primero que se presenta á nuestros sentidos, ó lo que es lo mismo á nuestras ideas, luego que exâminamos ó que concebimos un cuerpo, es la *Extension*; es decir, una magnitud determinada, en la que concebimos siempre una agregacion de partes. Esta extension tiene siempre tres dimensiones, que son *longitud*, *latitud*, y *profundidad* ó *grueso*, las quales consideran y miden frequentemente los geómetras cada una con separacion de las otras; y que

Digitized by Google

los Físicos no separan jamas, á causa de que miran siempre las cosas tales como ellas son. Cada cuerpo, por pequeño que sea, tiene siempre una parte superior y otra inferior, una anterior y otra posterior, un lado derecho y otro siniestro; y todas estas cosas, tomadas juntamente, forman con precision una longitud, una latitud, y una profundidad ó grueso. Luego todo cuerpo que tenga estas tres dimensiones, es necesariamente *extenso*. Es verdad que no vemos estas tres dimensiones en todos los cuerpos; pues que los hay tan pequeños que nuestros ojos no pueden percibirlos, ni nuestros dedos distinguirlos; pero como en todos los cuerpos que se presentan á nuestros sentidos, notamos esta extension, podemos afirmar pertenece á todos los cuerpos en general

Divisibilidad.

7 No podemos tener idea de un cuerpo, sin concebir un agregado de partes (6); luego todos los cuerpos deben ser considerados como compuestos de ellas. Es fácil de concebir que estas partes, así reunidas para formar un cuerpo, pueden ser separadas las unas de las otras; en virtud de lo qual se sigue que todos los cuerpos son divisibles. Luego la *Divisibilidad* es una propiedad general de los cuerpos; de modo que no hay ninguno que sea realmente indivisible sino los átomos, en caso que existan. Está probada esta divisibilidad relativamente á los cuerpos de una magnitud sensible; pues que nadie ignora que cada uno de estos cuerpos puede dividirse en 2, en 4, en 6, en 10, en 1000, &c. partes. Mas ¿hasta dónde llega esta divisibilidad? Quando se ha hecho la division hasta cierto punto ¿cesan los cuerpos de ser divisibles, ó lo son hasta el infinito? qüestion es esta que ha ocupado á los fí-

Digitized by Google

sicos mucho mas de lo que ella merece. Es segur o que la division de los cuerpos puede llevarse hasta muy léjos, y mas aun de lo que nuestra imaginacion pudiera hacernoslo creer, si los hechos no lo comprobasen; así, solo la divisibilidad en partes extremamente tenues es la que puede probarse con la experiencia.

EXPERIMENTO. Dividase un pedazo de madera hasta el punto de reducirle en polvo impalpable; cada una de estas moléculas de madera, por pequeña que sea, será todavía muy divisible, por ser aun madera; y por conseqüencia un ser compuesto de principios muy diferentes los unos de los otros, como el agua, la tierra, las partes aceytosas, salinas, &c. que se pueden separar con la combustion, y de las que las unas se disipan baxo la forma de llama, las otras baxo la de humo, en tanto que otras quedan fixas formando la ceniza, la sal, &c. ¿Qué division no se necesita para todo esto?

EXPERIMENTO. Disuélvanse algunos granos de cobre en un poco de ácido nitroso, y echese esta disolucion en una cantidad bastante grande de agua; y quedará todo este líquido sensiblemente teñido; ¿qué division tan excesiva no se necesita tambien para esto, siendo preciso, para que el color sea sensible, el que haya muchas partículas en cada gota de agua? Sin embargo, cada una de estas partículas es aun divisible; porque siendo todavía cobre, que se puede recoger haciendo evaporar el disolvente, puede aun mirarse como compuesta de principios muy diferentes los unos de los otros.

EXPERIMENTO. Quando entramos en un jardin en el que hay flores y árboles odoríferos, como naranjos, rosales, varas de jesé, &c. se halla el ayre perfumado de tal modo, con el olor de estas flores, que lo notamos por todas partes. ¿Hasta qué grado

Digitized by Google

de tenuidad no deben estar reducidas estas particulillas odoríferas, y hasta qué punto no debe llegar su division; para estar distribuidas en tan grande espacio, siendo tan pequeño el que ántes ocupaban en las flores que las exhaláron? Pues sin embargo, aun son divisibles, por ser probable que la manera con que cada una hiere nuestro órgano, y que la hace distinguir tan bien de las demas, depende de la diferente combinacion de los principios que la constituyen tal.

¿Quál es la causa de que las aguas de los rios esten turbias en los tiempos de grandes lluvias, sino las tierras que las aguas llovidas arrastran á ellos, dividiéndolas al mismo tiempo prodigiosamente? Los manantiales minerales no lo serian sino fuese por las diferentes sustancias que tienen en disolucion. En ningun modo descomponen estas disoluciones á los cuerpos; pues que se los encuentra por lo regular, tales como eran ántes de ser disueltos, haciendo evaporar el disolvente; medio que se observa para sacar las sales, salitre, &c. de las aguas que los contienen. Las infusiones son unas disoluciones lentas: tales son aquellas por medio de las quales se extrae las tinturas de las maderas. Estas disoluciones é infusiones no hacen mas que poner las partes de los cuerpos en disposicion de que se pueda hacer de ellas ciertos usos, como los metales muy divididos que se emplea en la farmacia.

8 Se podrian citar aun muchos exemplos para prueba de que la materia es divisible en partes todavía mas tenues de quanto nos podemos imaginar de mas sutil; como son los que nos presentan las artes de batidor de oro, tirador de oro, tintorero, &c. El batidor de oro es el que reduce este metal en hojas delgadas, quales son las que empleamos en nuestros dorados; siendo tal el grado de delgadez á que

Digitized by Google

quedan reducidas, que serian precisas, siguiendo las observaciones de *Reaumur*, treinta mil de ellas, puestas una sobre otra, para formar el grueso de una línea; y segun *Boyle* (*de Mira Subtilitate Effluviorum*, *cap.* 2.) cinqüenta pulgadas quadradas de estas hojas no pesan mas que un grano. Mas pudiéndose dividir una pulgada en 200 partes, cada pulgada quadrada producirá 200 tiras pequeñas, y cada tira 200 partecillas quadradas, las que se pueden percibir fácilmente cada una de por sí, á la vista natural; y por conseqüencia serán aun muy divisibles. Cada pulgada quadrada dará pues 40000 partes visibles, que multiplicadas por 50, números de pulgadas quadradas que puede producir un grano de oro, resultan 2000000 de partecillas. El arte de tirador de oro, ofrece aun un resultado, bien observado por *Reaumur* (*Memorias de la Academia de las Ciencias año de* 1713, *pág.* 204 *y siguientes*) mas digno de asombro. El tirador de oro es el que prepara el hilo de plata dorada que se emplea en las telas, galones, bordados, &c. Con una cantidad de hojas de oro, que no excede jamas del peso de seis onzas, y que algunas veces se suele disminuir hasta el de una, se cubre un cilindro de plata quasi de 22 pulgadas de largo, 15 líneas de diámetro, y del peso de 45 marcos; cuyo cilindro, ya dorado, se hace pasar sucesivamente por los agujeros de una plancha de acero. Como estos van decreciendo se prolonga el cilindro en razon de lo que disminuyen los diámetros de ellos, de modo que llega á ser tan sútil como un cabello, y de una longitud igual á la de 193920 toesas, ó cerca de 85 leguas de 25 al grado. Durante esta operacion se extiende el oro sobre el hilo de plata, en términos que esta no queda descubierta por ninguna parte. Se pasa en seguida este hilo dorado entre dos rodillos ó cilindros de acero pulimentado,

Digitized by Google

á fin de aplanarle; lo que le prolonga una séptima parte, dexándole asimismo dorado por arriba y por abaxo, y formando dos caras ó superficies de oro de 97 leguas cada una ¿en quántas partes no se podria dividir semejante longitud? Al extenderse esta capa de oro, que cubre la plata, se adelgaza en términos que, segun *Reaumur*, no tiene de grueso mas que la 525000 parte de una línea: segun esto ¿nos deberemos maravillar de que los galones de oro, &c. se conviertan tan pronto, por medio del rozamiento, en galones de plata? El arte de Tintorero no prueba ménos la prodigiosa divisibilidad de la materia. No se necesita mas que una corta cantidad de color para teñir una pieza de paño; y suponiendo que se fuesen juntando por sus extremos ó puntas todos los pelos de lana que componen esta pieza ¿quán prodigiosa longitud no resultaria de esta operacion? ¿quántas veces no se podria echar la tixera? Cada parte separada seria un pequeño círculo teñido en toda su circunferencia, y que podria dividirse á lo ménos en 360 partes, como lo hacen los geómetras. Quasi se rehusa la imaginacion á admitir semejante número de partes.

9 Pero, habiendo llevado la division de los cuerpos al término mas distante que hemos podido; y faltándonos los medios de llevarla hasta mas léjos ¿qué es lo que debemos pensar? ¿es la materia, en fin, divisible al infinito, ó no? Qüestion es esta á la que es dificil responder, pero que por buena suerte importa muy poco. En quanto á nuestro parecer sobre este punto, creemos deber mirar la materia en ella misma como divisible al infinito, ó por lo ménos al indefinido; es decir, que no conocemos término de division, en el qual se pueda mirar cada molécula de la materia, así dividida, como indivisible en ella misma; aunque carezcamos de agentes

para descomponer estas pequeñas masas; porque cada una de estas moléculas es una agregacion de partes (6) que contiene dos mitades reunidas, que se concibe pueden ser separadas; despues de cuya separacion se podrá decir otro tanto de cada una de estas mitades, y así hasta el infinito. He aquí pues á lo que puede reducirse la qüestion: la divisibilidad ideal, aquella que se puede concebir, no tiene límites: la divisibilidad física, posible al infinito ó no, es asunto de sistema, y una qüestion que no podrá jamas resolverse; á causa de que siempre tendremos un término, desde el qual nos faltarán los medios para seguir adelante. En fin, la divisibilidad llevada hasta un punto extremo, y hecha en partes todavía mas tenues que todo lo que podemos imaginarnos de mas sútil, es la sola divisibilidad cierta, y la sola que puede probar la experiencia.

Figurabilidad.

10 Se entiende por esta palabra *Figurabilidad*, la propiedad que se halla en todos los cuerpos de tener siempre una figura qualquiera. En efecto, es fácil de concebir que ningun cuerpo puede existir sin esta propiedad; porque cada cuerpo, grande ó pequeño, está compuesto de una cierta cantidad de materia que se llama su *masa*; la qual ocupa mas ó ménos espacio; y es á lo que se llama su *volúmen*. Este volúmen no puede ménos de estar terminado por superficies, las quales tienen necesariamente entre sí, cierta disposicion y cierto órden; y á esta disposicion pues, ó á este órden que toman entre sí las superficies que terminan el volúmen de los cuerpos, es á lo que se llama *figura*.

Como no hay cuerpo alguno que no esté terminado por superficies, que en ningun modo se confun-

Digitized by Google

den sino que siempre se distinguen las unas de las otras, á lo ménos por situaciones relativas, es evidente que no exíste cuerpo alguno que no tenga una figura qualquiera; sin exceptuar aquellos mismos cuya pequeñez es causa de que su figura se oculte á la vista natural; pues si nuestros sentidos fuesen mas perspicaces, ó ayudasemos nuestra vista con un microscopio, distinguiriamos las superficies de estos cuerpecillos, y por conseqüencia su figura. Luego el ser figurado es una qualidad que acompaña á los cuerpues en qualquier estado que se hallen; luego la *figurabilidad* es una propiedad comun á todos los cuerpos, grandes ó pequeños.

Las superficies que terminan los cuerpos, pueden variar, y varian efectivamente al infinito, ya con respecto á su magnitud, ya á su número, ya á su disposicion respectiva; de adonde se sigue que las figuras de los cuerpos son tan variables, y tal vez tan variadas entre sí, quanto mayor es la posibilidad de poder combinar á un mismo tiempo la magnitud, el número, y el órden de las superficies. Estoy bastante inclinado á creer que no se podria hallar en una selva entera, dos hojas que se pareciesen en un todo.

Impenetrabilidad.

11 Se entiende por *impenetrabilidad* la propiedad que tienen los cuerpos de no dexar ocupar á otros el sitio en que se hallan, sin que ántes estos no les hayan hecho abandonar el espacio que los contiene. Esta propiedad se llama tambien *solidez*, siendo por ella por la que los cuerpos sesisten á los que se dirigen á ocupar su sitio. Esta resistencia es no solamente comun, sino tambien esencial á todos los cuerpos; en lo que no cabe duda alguna, sea que se

Digitized by Google

considere á los cuerpos en su todo, sea que no se haga atencion mas que á sus partes las mas simples; siendo tambien esta resistencia el signo ménos equívoco de la exîstencia de ellos. Algunas ilusiones de óptica suelen engañar á nuestra vista algunas veces, haciéndonos tomar las chîmeras por realidades; pero luego que empleamos el sentido del tacto, nos aseguramos de la verdad, por la resistencia que encontramos, y por la persuasion íntima en que estamos de que todo lo que resiste es cuerpo, es *sólido*, es *impenetrable*; y de que no se puede colocar el dedo, ú otra cosa, en sitio que está ocupado por una materia qualquiera, sin emplear una fuerza capaz de hacerla pasar á otra parte. Esta resistencia, que es el efecto de la impenetrabilidad de los cuerpos, se encuentra en todos ellos, como nos lo prueba diariamente la experiencia. Es verdad que hay casos en que esta resistencia escapa á nuestros sentidos ó á nuestra atencion; pues que hay ciertos cuerpos que nos estan tocando sin cesar y por todas partes igualmente, y la habitud nos ha hecho su contacto tan familiar, que tenemos necesidad de meditar en ello para conocer la impresion que causan sobre nosotros. Quando nos movemos en un ayre quieto no hacemos atencion á que tenemos que vencer continuamente la resistencia de un cuerpo cuya solidez se opone á nuestros movimientos; y nos parece no movernos nada quando nos movemos poco. Luego si se prueba que el ayre, este fluido que resiste tan poco, tiene una resistencia y una solidez real, con mas fuerte razon se concederá esto á los demas cuerpos que son mas resistentes que él.

Experimento. Tómese un tubo de metal muy fuerte, cerrado por uno de sus extremos, y abierto por el otro, é interiormente bien calibrado: métase en él un émbolo que ajuste de tal modo que no de-

Digitized by Google

xe pasar al ayre entre sus paredes y las del tubo; y con cierta fuerza se podrá introducir el émbolo hasta una determinada profundidad; porque el ayre es un fluido compresible (897), que cede una parte del sitio que ocupa á la fuerza que le comprime; sin que haya fuerza conocida que pueda obligar al émbolo á introducirse hasta el punto de hacerle tocar el fondo del tubo; por lo qual quedará siempre entre él y este fondo una cantidad ó capa de ayre, que será tanto mas delgada, y tendrá tanta mas densidad, quanto mayor haya sido la fuerza empleada; y que no podrá jamas reducirse á cero. Luego el ayre oponе una resistencia real á los cuerpos que se dirigen á desalojarle; y con mas fuerte razon gozan de esta propiedad los cuerpos que resisten mas que él.

12 Esta resistencia del ayre es la causa de que no se pueda llenar de licor una botella, si el tubo ó cañon del embudo se une demasiado exâctamente con el cuello de ella; pues no pudiendo salir el ayre, impide su resistencia la entrada al licor. La misma razon milita para que no se salga el licor contenido en un tonel al que se haya dado un barreno, porque obrando contra este el ayre exterior, impide la salida del líquido; á ménos que el agujero no sea tan grande que dé paso libre á un mismo tiempo á los dos fluidos, los quales corren en direccion contraria.

13 Hay, no obstante, ciertos cuerpos que parece se dexan penetrar por otros; pero esto no es mas que una penetracion aparente, y de ningun modo real y verdadera. Una esponja, por exemplo, recibe y retiene interiormente una grande cantidad de agua; pero esta agua se coloca solamente en los vacíos que hay entre las partes de la esponja, y en ningun modo en el sitio que ocupan las partes constitutivas de ella. Lo mismo se puede decir de un pe-

Digitized by Google

dazo de azucar, de una piedra blanda, &c. La piedra de las canteras de *Bouré*, cerca de *Montrichard*, á nueve leguas de *Tours*, retiene mas de 731 libras de agua por vara cúbica; pero este líquido no ocupa mas que los espacios que las partes de piedra ó de azucar dexan entre ellas vacíos de su propia sustancia, y jamas el sitio que ocupan estas mismas partes. Si se mezclan dos medias azumbres una de agua, y otra de espíritu de vino, se verá que las dos no bastan para llenar una medida de azumbre: un vaso lleno de agua admite aun mucha arena ó ceniza.

EXPERIMENTO. Añádase á un volúmen de agua de cinco pulgadas cúbicas, igual volúmen de ceniza, y se tendrá una mezcla cuyo volúmen no será mas que de seis pulgadas cúbicas. He aquí pues absorvidas por la penetracion aparente quatro décimas partes del volúmen total.

Trabajando para buscar y conocer el peso específico de los cuerpos, para la obra grande que sobre este asunto publiqué en 1787, tuve ocasion de conocer todas las sustancias que el agua puede penetrar; cuya razon tal vez no será fuera del caso el incluir aquí. Son estas sustancias pues:

Los Ocres.
Las Areniscas.
Las Zeolitas.
Algunas serpentinas, no todas.
Las Esteatitas.
Los Amiantos y los Asbestos.
Las Micas.
Las Pizarras.
Las piedras de Florencia.
Las rocas calizas.

14 Es preciso pues distinguir la magnitud aparente de los cuerpos, de su *solidez* real, por quanto quedan ciertos vacíos entre las partes de estos cuerpos; y la *impenetrabilidad* de que se trata aquí,

Digitized by Google

no pertenece mas que á las partes sólidas de los cuerpos que se hallan juntamente reunidas en el mismo todo, y no en el compuesto que resulta.

Porosidad.

15 Acabamos de decir que entre las partes sólidas de los cuerpos hay intersticios vacíos de su propia sustancia (13): á estos intersticios pues, es á los que se da el nombre de *poros*. Tales son los agujeros que se ven en una esponja, pues son otros tantos poros suyos; y tales son tambien los agujeritos que en una plancha sutil de madera se observan con un microscopio. Estos vacíos no son siempre vacíos absolutos; pues los mas grandes, sobre todo los que se hallan hácia la superficie, estan llenos de ayre; y los otros mas pequeños contienen calórico por lo ménos. Sin embargo, es probable que hay de estos poros absolutamente vacíos de toda sustancia: parece exígirlo así la libertad que hay para los movimientos; porque si todo estuviese lleno en la naturaleza, no se concebiria como un cuerpo podria mudar de sitio, siendo como lo es impenetrable la materia, y en caso que todo estuviese lleno de ella.

No hay cuerpo alguno entre cuyas partes, por inmediatas que se hallen unas á otras, no quede algun espacio vacío de su propia sustancia. Luego la *porosidad* es una propiedad general que corresponde á todos los cuerpos, aunque no á todos en un mismo grado: los unos tienen mayor porosidad que los otros, y esta mayor porosidad se mide por el menor peso específico, porque la porosidad está en razon inversa de este peso. Los poros mas abiertos no son siempre una prueba de la mayor porosidad; el número compensa y aun sobrepuja algunas veces lo que hace la magnitud. Por exemplo, los poros de la

Digitized by Google

encina son mucho mas abiertos que los del alcornoque, y no obstante, la encina tiene una porosidad menor que la del alcornoque, porque á volúmenes iguales pesa mas que él.

16 Aunque sepamos que la porosidad pertenece á todos los cuerpos, y aunque conozcamos por el peso la relacion de la de un cuerpo á la de otro, ignoramos no obstante la cantidad fixa de esta porosidad; pues para conocer su valor nos seria preciso una materia toda sólida; una materia que no tuviese poros, ó por lo ménos una materia cuya porosidad absoluta nos fuese conocida: entónces la relacion de su peso al peso de otro cuerpo, á volúmenes iguales, nos daria la relacion de las porosidades de estos dos cuerpos, y por conseqüencia sus porosidades absolutas; pero no conocemos materia de esta especie. El platino y el oro, que son los mas pesados de todos los cuerpos, tienen no obstante poros; porque el mercurio, y el ácido nitro-muriático, llamado *agua-regia*, se introducen entre sus partes, y las disuelven; y su porosidad es tambien bastante considerable. Siguiendo á *Newton* (tratado de óptica, lib. 2. part. 3. prop. 8. pag. 313.) el oro tiene mas poros que partes sólidas, ¿quál deberá ser pues la porosidad de otros cuerpos? La de todos ellos está en razon inversa de la densidad ó peso específico; así, la densidad del oro es á la del agua poco mas ó ménos, como 19¼ es á 1; y á la del ayre, sobre corta diferencia, como 15627 es á 1: ¿pero cómo podremos concebir tan grande porosidad? *Newton*, en el lugar citado arriba, pag. 315, nos da el medio para ello en la forma siguiente. "Si concebi»mos, dice, que estas partículas (de los cuerpos) pue»den estar dispuestas de tal modo, que los inter»valos ó espacios vacíos que hay entre ellas sean »iguales en cantidad á la suma de todas estas par-

Digitized by Google

»tículas; que estas esten compuestas de otras mas »pequeñas que tengan entre ellas espacios vacíos de »una cantidad igual á la de todas estas mas peque»ñas partículas; y por último, que estas esten igual»mente compuestas de otras mucho mas pequeñas, que »sean todas juntas iguales á todos los poros ó espa»cios vacíos que haya entre ellas, y así de seguida »hasta que se llegue á unas partículas sólidas que »no tengan ningunos poros ó espacios vacíos; ten»dremos, que el cuerpo, en que haya por exemplo, »tres semejantes grados de partículas, de las quales »las menores sean sólidas, contendrá en sí siete ve»ces tantos poros como partes sólidas; que si hay »quatro grados de estas partículas de las que las me»nores sean sólidas, tendrá el cuerpo quince veces »tantos poros, como partes sólidas: si cinco gra»dos, el cuerpo tendrá treinta y una veces tantos »poros como partes sólidas: si seis, contendrá el »cuerpo sesenta y tres veces tantos poros como par»tes sólidas; y así de seguida continuamente."

Se ve que por este medio se podria llegar á una porosidad excesiva.

17 No hay cuerpo ninguno visible, ya sea á la simple vista, ya auxiliándola con los microscopios, en el que no se perciban algunos poros. Algunos fluidos se introducen entre las partes de ciertos cuerpos (13), para lo qual es preciso que haya en ellos poros, porque la materia es impenetrable (11). Las maderas, y sobre todo las blandas, pierden ó adquieren humedad, segun lo mas ó ménos seco, con respecto á ellas, de los sitios en donde se hallan; y he aquí porque sucede freqüentemente que las obras de carpintería se abran ó se alabeen: una ventana que se cierra fácilmente en un tiempo, en otro se dilata hasta el término de poder apénas entrar en su sitio:

Digitized by Google

un tonel entreabierto se compone y cierra dexándole estar en el agua, &c. Todos estos efectos no son otra cosa mas que dimensiones disminuidas por la sequedad, ó aumentadas por la humedad que se introduce entre las partes de la madera. Se puede prevenir una gran parte de estos inconvenientes, pintando al oleo, ó barnizando por una y otra parte las obras de carpintería; porque por este medio se tapan los poros de la madera con una materia impenetrable al agua, y de consiguiente se impide que la humedad pueda introducirse en ella, como tambien el que se salga la que se contiene entre sus partes; con cuyo auxilio se conservan estas obras por mas largo tiempo en un estado constante.

18 Nuestra transpiracion prueba evidentemente la porosidad de nuestro cutis: aquella que decimos ser *insensible*, y que en realidad no se percibe mas que por sus efectos, es continua: segun *Santorius* y *Dudart*, perdemos por ella las cinco octavas partes de lo que comemos. Sobre este punto ha hecho *Seguin* una serie de experimentos bastante curiosos, cuyos resultados son los siguientes: La pérdida que nos causa la transpiracion insensible es tal que, 1.° qualquiera que sea la cantidad de alimentos que se tome, nos hallamos por medio de la transpiracion, pasadas veinte quatro horas, con el mismo peso que ántes; con tal que estemos en una edad adulta, en estado de salud, y en el de hacer una buena digestion.

2.° Si las cantidades de alimentos varian, ó difieren las transpiraciones, la cantidad de excrementos lo dexan compensado; en términos que todos los dias á la misma hora nos hallaremos con el mismo peso.

3.° Una mala digestion hace que la transpiracion

se disminuya, y en tanto que dura se aumenta nuestro peso cada dia.

4.° En el instante en que acabamos de comer, la transpiracion está en su *mínimo*; porque deteniéndose nuestro calórico (588,1099) para comenzar la digestion, sale en menor cantidad al ayre que nos rodea; el qual disuelve entónces ménos humor transpirable. Así, quando estamos en estado de salud, sentimos algo de frio despues de comer.

5.° Durante la digestion, está en su *maxîmo* la transpiracion insensible: esta pérdida, excedente de la que se hace en ayunas, es de 2,3 granos en cada minuto, y de 138 granos en cada hora.

6.° En las circunstancias mas favorables, la mayor transpiracion insensible es por un término medio de 32 granos en cada minuto, ó de 46080 granos ó 5 libras en cada dia.

7.° En las circunstancias ménos favorables, la transpiracion insensible de mas poca consideracion, suponiendo una digestion buena, es por un término medio de 11 granos en cada minuto, ó de 158440 granos, ó 1 libra, 11 onzas, 4 dracmas en cada dia.

8.° Luego que se acaba de comer, en los casos ménos favorables, la transpiracion es de 8,2 granos en cada minuto, y en los favorables de 9,1 granos.

9.° Esto es en general lo que se verifica con la transpiracion; pero en particular es preciso distinguir dos especies de transpiracion, la cutanea y la pulmonar. A fin de observar con distincion una y otra se cubrió *Seguin* todo el cuerpo, en términos que no pudiese salir el humor transpirable, no dexando fuera mas que las narices y la boca; con lo que logró dar salida solamente al humor transpirable de los pulmones.

Digitized by Google

10.° Depende la transpiracion cutanea, 1.° de la virtud disolvente del ayre que nos rodea: 2.° de la facultad que tienen los vasos exhalantes para llevar hasta el cutis el humor transpirable. Si se reunen estas dos causas es abundante la transpiracion; disminuyendo si se suprime una de ellas. Se evita la primera cubriendo el cuerpo con cosa que no la permita el paso por los poros; y la segunda siempre que no sea buena la digestion.

11.° La transpiracion insensible es por un término medio, de 18 granos en cada minuto; á saber, 11 granos de transpiracion cutanea, y 7 granos de pulmonar; todo lo qual compone al dia 1 libra, 11 onzas y 4 dracmas de transpiracion cutanea, y 1 libra, 1 onza y 4 dracmas de transpiracion pulmonar.

12.° La transpiracion pulmonar obedece á las mismas leyes que la cutanea; pero segun se combinan entre sí estas leyes sucede que 1.° ó el ayre que vuelve á salir de los pulmones no puede disolver toda el agua que allí se forma: 2.° ó este ayre puede á cada expiracion llevarse toda el agua que se ha formado durante la inspiracion: 3.° ó este ayre puede á mas disolver el agua que se transpira de los pulmones con el hidrógeno carbonoso. En el primer caso nuestro peso puede aumentarse, en el segundo no padecer variacion alguna, y en el tercer caso disminuirse.

13.° La transpiracion pulmonar, relativamente al volúmen de los pulmones, es mas considerable que la cutanea comparativamente á la superficie del cutis; lo qual proviene 1.° de que el ayre que entra en los pulmones está en contacto inmediato con el agua que se encuentra en ellos: 2.° de que allí recibe un temperamento mas fuerte.

Digitized by Google

14.° La transpiracion pulmonar es, sobre corta diferencia, la misma ántes é inmediatamente despues de comer; pues si es ántes de la comida de 8,2 granos en cada minuto, despues de comer es de 8,7 granos; y estas 0,5 de grano de mas, corresponden bastante exâctamente á la cantidad de carbon y de hidrógeno que debe resultar de la digestion.

Resultados generales.

1.° La transpiracion insensible es de 18 granos en cada minuto, ó de 25920 granos, ó 2 libras y 13 onzas en cada dia.

2.° El ayre puro consumido en cada hora es 1512 pulgadas cúbicas, ó 36288 pulgadas cúbicas, ó 21 pies cúbicos en cada dia, siendo su peso 1 libra, 15 onzas y 4 dracmas.

3.° De esta cantidad los 8,2 pies cúbicos forman el gas ácido carbónico y los 12,8 pies cúbicos restantes forman el agua.

4.° De cinco partes de ayre puro, dos forman el gas, y tres el agua.

5.° El volúmen de gas expirado en cada dia es de cerca de 8 pies cúbicos, y su peso es 1 libra, 5 dracmas y 32 granos, compuesto de 4 onzas, 5 dracmas y 25 granos de carbon, y de 12 onzas y 7 granos de oxígeno.

6.° El peso del agua formada es de 1 libra, 5 onzas, 6 dracmas y 23 granos en cada dia; y está compuesta de 3 onzas, 2 dracmas y 11 granos de hidrógeno, y de 1 libra, 2 onzas, 4 dracmas y 12 granos de oxígeno.

7.° La cantidad de agua que se desprende de los pulmones en cada dia es de 12 onzas, 6 dracmas y 47 granos.

8.° Reuniendo en una cantidad todas las mate-

rias que se pierden en veinte y quatro horas, se hallará:

	Libr.	*Onz.*	*Drac.*	*Gran.*
Que siendo el agua que se pierde por la transpiracion cutanea. . . .	1. .	11. .	4. .	0
La que se pierde por la transpiracion pulmonar.	0. .	12. .	6. .	47
Y el carbono.	0. .	4. .	5. .	25
Es el total de la pérdida en las veinte y quatro horas.	2. .	13. .	0. .	0

19. La cáscara de los huevos es porosa; y por sus poros es por donde comienzan á evaporarse inmediatamente al haber sido puestos; cesando así de ser lo que comunmente se entiende por frescos. Si se quiere evitar esta evaporacion no hay mas que tapar sus poros con una materia grasienta, como el aceyte de olivas, que es lo que basta al efecto; para lo qual será preciso, despues de haber untado todo el huevo con la punta del dedo, enjugarle con una servilleta, á fin de que no le quede mas que una capa muy sutil de aceyte; pues no haciéndolo así podria la presion del ayre obligar á entrar en el huevo algunas gotillas muy sutiles de aceyte que enranciándose le darian un gusto muy malo. Para conservarlos bien frescos es preciso engrasarlos del modo dicho, al punto que hayan sido puestos, ó por lo ménos en el mismo dia: yo los he comido preparados de esta suerte, que tenian un año de data, y que estaban tan frescos y delicados como los que habian sido puestos en el mismo dia. Para conservarlos así largo tiempo se necesita que no hayan sido fecundados, porque si lo han sido no pueden conservarse mas que seis semanas ó dos meses.

Digitized by Google

20 La luz es una materia (1172), y se sabe que se introduce y penetra con la mas grande facilidad al traves de todos los cuerpos transparentes, para lo que se necesita tengan estos cuerpos una gran cantidad de poros en todas direcciones.

21 Algunos cuerpos admiten en sus poros ciertos fluidos, al paso que otros fluidos no pueden introducirse en ellos; y el mismo fluido penetra en los poros de un cuerpo, en tanto que no puede penetrar en los de otro. El mármol, por exemplo, admite en sus poros al espíritu de vino y los aceytes, y no al agua: esta puede introducirse en las gomas, y el espíritu de vino no: á las resinas las puede penetrar este y los aceytes, y no el agua. El ácido nítrico se introduce en los poros de la plata, y la disuelve, y no altera el oro: el ácido nitro-muriático ó *agua-regia* se introduce en los poros del oro, y le disuelve, y no altera la plata: el ácido nítrico disuelve el cobre, el hierro, &c. y no hace operacion alguna en la manteca: ¿de qué pues procede todo esto? sin duda alguna que no puede proceder solamente de que los poros de una sustancia esten mas abiertos, y los de otra lo esten ménos; porque suponiendo que los poros de las gomas esten mas abiertos que los de las resinas, y que las partículas del agua sean mas grandes que las del espíritu del vino; se explicaria bien porque el agua no disuelve las resinas y sí las gomas, con solo exponer que sus partes demasiado gruesas no podrian introducirse en los poros muy poco abiertos de las resinas: pero ¿por qué las partículas del espíritu de vino, mas sútiles que las del agua, no penetran en los poros de las gomas, mas abiertos que los de las resinas, en los que se introducen tan fácilmente? La sola razon de la magnitud de los poros del cuerpo á disolver, y de la pequeñez de las partículas del

Digitized by Google

disolvente, no basta pues para explicar estos hechos, aunque probablemente contribuya en alguna cosa: así es preciso agregar á esta alguna otra causa, la que sin duda dimana de que la figura de los poros del cuerpo á disolver debe ser adequada á la figura de las partículas del disolvente, pues que no hay duda en que los poros de diferentes cuerpos son de diversas figuras.

Rarefactibilidad.

22 La *rarefactibilidad* es la propiedad que tienen los cuerpos de aumentar de volúmen por medio de la accion del calor; y á esta accion en virtud de la qual aumentan de volúmen, es á lo que se llama *rarefactibilidad*. Todos los cuerpos, sin que se deba exceptuar ninguno, aumentan de volúmen, ó se enrarecen siempre que se los calienta; luego la *rarefactibilidad* es una propiedad general que pertenece á todos los cuerpos.

La verdadera causa de esta dilatacion, ó enrarecimiento es la introduccion de una cantidad mas ó ménos grande de la materia del calor en los poros de los cuerpos; la que, por su abundancia y accion, los penetra, desvia sus partes, y aumenta así su volúmen, haciéndoles ocupar un espacio mas grande que el que ocupaban anteriormente. Todos los cuerpos, ya sean sólidos, ya fluidos, ya líquidos, son susceptibles de este enrarecimiento; el que se verifica en todos, siempre y quando que se los calienta, á ménos que alguna causa mas poderosa no se oponga á este efecto. Veremos las pruebas de esto quando hablemos de la accion del fuego sobre los cuerpos (1132 *y siguientes*).

Digitized by Google

Condensabilidad.

23 La *condensabilidad* es la propiedad que tienen los cuerpos de disminuir de volúmen por la accion del frio; lo que jamas dexa de sucederles, siempre y quando que pierdan una porcion de la materia del calor que se habia introducido en sus poros. Es fácil de ver, que esta propiedad es precisamente la contraria de la propiedad precedente, la *rarefactibilidad* (22).

Siempre que un cuerpo pasa de un sitio caliente á otro que no lo esté tanto, ó que está rodeado de un ayre ménos caliente que el que le rodeaba anteriormente, ó en fin, que se encuentra inmediato á cuerpos ménos calientes que él, comunica á estos una porcion de la materia del calor que le penetraba, y que tenia desviadas sus partes; porque la materia del calor es un fluido (588, y 1099), y la propiedad de los fluidos es la de extenderse uniformemente por todas partes, á ménos que no haya algunas causas que se opongan á ello. En qualquiera pues de estos tres casos, no hallándose ya las partes de este cuerpo tan sostenidas por la materia del calor, se acercan las unas á las otras, y se reducen á unos límites mas estrechos: en una palabra, se presenta este cuerpo mas pequeño que ántes; y á esto es á lo que se llama *condensacion*. Pero como no hay cuerpo alguno, que disminuyendo de calor no sea susceptible de aminorar de volúmen; se debe concluir que la *condensabilidad* es una propiedad general de los cuerpos, que pertenece á todos indistintamente, y sin excepcion alguna; y no hay que objetar contra esto el exemplo del agua al helarse, la que á proporcion que se va enfriando aumenta no obstante de volúmen; pues este aumento se debe

á una causa extraña de la que hablaremos al tratar del yelo, y á cuyo tiempo veremos que el agua helada es realmente agua condensada.

Hablaremos mas largamente de la condensabilidad de los cuerpos, al tratar del fuego y del calor que los enrarece.

Compresibilidad.

24 De todo quanto hemos dicho de la porosidad se sigue que la magnitud aparente de un cuerpo excede siempre á la cantidad real de su materia propia; á causa de que las partes de este cuerpo no estan tan próximas las unas á las otras, como podrian estarlo, por quedar entre ellas vacíos de su propia sustancia (15). La cantidad de materia que compone un cuerpo es á lo que se llama su *masa*, y *volúmen* al espacio que ocupa. El exceso que hay de este volúmen, con respecto á su masa, varía, no solamente entre los diferentes cuerpos, sino tambien entre los de una misma clase (22 y 23); y á esta relacion que hay entre el volúmen y la masa, es á lo que se llama *densidad*. Un cuerpo es mas *denso* que otro, quando difiere ménos la cantidad real de su materia, de su magnitud aparente; ó, lo que es lo mismo, quando baxo un volúmen dado contiene mas partes sólidas: el plomo es mas denso que el cobre, el oro mas que la plata, &c.

Como no conocemos cuerpo alguno perfectamente duro, y sí que todos ellos tienen poros, es evidente que una fuerza exterior, suficiente para vencer la resistencia de las partes, podrá aproximarlas las unas á las otras, disminuir el volúmen de este cuerpo sin disminuir su masa, y por conseqüencia aumentar su densidad. A este aproximamiento, pues, de las partes causado por una fuerza exterior

Digitized by Google

es á lo que se llama *compresion*.

25 Incluimos la *compresibilidad* en el número de las propiedades generales, y decimos pertenece á todos los cuerpos; mas, no por esto se deberá entender pertenece á todos en un mismo grado, pues que unos son muy compresibles, y otros muy poco. Todos los cuerpos que llamamos *sólidos*, es decir, aquellos cuyas partes se adhieren bastante fuertemente las unas á las otras para no tener entre ellas aquella movilidad respectiva que se encuentra entre las partes de los fluidos y líquidos; todos estos cuerpos, digo, dan señales muy sensibles de compresion. Si se da con un martillo un fuerte golpe sobre una masa de oro, plata, estaño ó plomo, el choque del martillo dexará en ella una impresion bastante sensible; que prueba evidentemente que las partes han sido comprimidas en el parage en donde se dió el golpe. Si se dexa caer de cierta altura una bola de mármol, marfil, acero, ó aunque se quiera de diamante, que es de todos los cuerpos el mas duro, sobre otro cuerpo duro, se verá que todas saltan en el instante hácia arriba, y que se reflexan. Haremos ver dentro de poco (31) que el movimiento de reflexion es una prueba cierta de la compresibilidad de los cuerpos; pues que no pueden reflexarse sin ser elásticos, y no es posible exista la elasticidad en un cuerpo no compresible (32).

26 Hay otros cuerpos que son mucho mas compresibles que los de que acabamos de hablar, los quales disminuyen considerablemente de volúmen por medio de una presion poco fuerte; tales son los fluidos elásticos, como el ayre, los gases; por cuya propiedad son capaces de producir efectos muy singulares, de que hablaremos en tratando del ayre (884 *y siguientes*).

27 Existe tambien otra especie de sustancias que

Digitized by Google

no parece dan señal alguna de compresibilidad; es decir, que qualquiera fuerza que se haya empleado contra ellas no ha sido nunca suficiente para manifestar cedian á la presion que se les hacia sufrir, ni que jamas padeciese su volúmen la menor disminucion: estas sustancias son todos los licores. Para asegurarse de esto, hicieron los Señores de la *Academia del Cimento* un experimento muy ingenioso, pero que por desgracia no es bastante concluyente. He aquí en lo que se funda.

Está matemáticamente demostrado que una capacidad esférica es mas grande que toda otra capacidad que tenga igual superficie á la suya; de adonde se sigue que un vaso, cuya figura sea esférica, y que esté lleno de un licor qualquiera, no puede perder esta figura á ménos que no se verifique una de estas dos cosas; ó que el vaso aumente su superficie para conservar la misma capacidad, ó que el licor que contiene disminuya de volúmen.

Experimento. Los Señores de la *Academia del Cimento* tomáron pues una bola de oro, muy sutil y bien esférica, la que llenáron enteramente de agua, y tapáron exâctamente; hecho lo qual la aplanáron un poco con el auxílio de una prensa, haciendo desaparecer de ella dos pequeños segmentos. Despues de esta variacion de figura se halló tenia la bola la misma capacidad que ántes, prueba cierta del aumento de su superficie. Este experimento pareceria probar que el agua es absolutamente incompresible; sino se pudiese responder á esto que es posible que el agua haya sido comprimida en el primer instante, y que al restablecerse en su ser por la fuerza de su elasticidad, haya ocasionado la extension del metal; he aquí porque he dicho que este experimento no era concluyente. Si se continúa oprimiendo la bola, el agua, en lugar de ceder á esta pre-

Digitized by Google

sion, saldrá al través de los poros del metal, y aparecerá sobre la superficie en pequeñas gotas, semejantes á las del rocío; lo que prueba que los líquidos son capaces de resistir á una presion fuertísima.

EXPERIMENTO. He aquí otro experimento, que es por lo ménos tan concluyente como el anterior; por no verificarse en él, instante alguno en el que se pueda percibir la menor disminucion de volúmen. Tómese un tubo de cristal *a b c d* (*fig.* 1) bastante grueso, largo de cerca de siete pies, encorvado en forma de *sifon* en *b c*, cerrado herméticamente en *d*, y abierto en *a*. Echese mercurio en la curbatura *b c*, é inmediatamente hágase entrar agua en la parte *c d*, señalando exáctamente con una hebra de seda delgada el sitio *c* en donde se junta el mercurio con el agua; esto hecho, llénese el tubo con azogue desde *b* hasta *a*, mediante lo qual, el agua que está en *c d* se hallará oprimida con el peso de la columna de mercurio *a b*, que es igual á cerca de tres veces el peso de la atmósfera, como lo probaremos (301) al tratar de la Hidrostática. No obstante esta gran presion, la columna de agua *c d* no disminuye nada de su longitud, porque por poco que disminuyese subiria el azogue por cima de la seda que está en *c*, lo que jamas se verifica, ni aun en la cantidad del grueso de un cabello.

28 Aunque parece que estos experimentos prueban la incompresibilidad de los líquidos, sin embargo no se deben mirar como absolutamente incompresibles, 1.° porque, como hemos probado ya (24), todos los cuerpos son compresibles, por la razon de tener poros, que es en lo que consiste el que sus partes se puedan acercar las unas á las otras; y por lo mismo, no siendo todo líquido otra cosa mas que un conjunto de cuerpecillos sólidos y porosos, debe tambien ser compresible, con la diferencia de que lo

Digitized by Google

será mucho ménos, porque la compresibilidad debe disminuir como disminuye la magnitud de los cuerpos, y las partículas de los líquidos son prodigiosamente pequeñas: 2.º porque los líquidos dan, por otra parte, pruebas de compresibilidad; pues que son capaces de transmitir los sonidos, como lo probaremos (1003) al tratar de ellos; lo que no podria ser si no fuesen elásticos, propiedad que supone siempre la compresibilidad.

29 Debemos concluir de todo esto que los líquidos, aunque compresibles en sí mismos, son no obstante capaces de resistir á los esfuerzos que hasta aquí se ha empleado contra ellos: que es probable que cederian al fin, de una manera sensible, si fuese posible el sujetarlos á mas fuertes presiones; y últimamente que ellos ceden ya, tal vez, á las que se emplea, pero en cantidad demasiado pequeña para poderse percibir.

30 Para nosotros es sumamente ventajoso el que los líquidos puedan resistir á unas presiones que comprimen fuertemente á los demas cuerpos. Los que sacamos de los vegetales por medio de la expresion, tales como el vino, la cidra, los aceytes, &c. no se separarian en modo alguno de las partes sólidas que los contienen, si estos líquidos fuesen tan compresibles como ellas. La facilidad que encontramos para extraer de los vegetales los sucos que la naturaleza ha preparado en ellos para nuestros usos, está quasi toda fundada sobre la resistencia que oponen los líquidos á las fuerzas que se dirigen á comprimirlos.

Elasticidad.

31 La *elasticidad* es el esfuerzo con que los cuerpos que han sido comprimidos se dirigen á reponerse en el sér que tenian ántes de la compresion; en

Digitized by Google

una palabra, á restablecerse en su primer estado. Así que, un cuerpo con elasticidad es aquel que, despues de haber sido comprimido por una fuerza qualquiera, vuelve á tomar, luego que esta fuerza dexa de obrar en él, las mismas dimensiones, y la misma figura que tenia ántes de ser comprimido. Tal es un arco que se encorva mas al acortar su cuerda, y que recobra su primer situacion, si cortamos ó soltamos esta misma cuerda. Tal es tambien una bola de marfil ó de acero que se dexe caer sobre un plano de mármol; pues por su caida y su choque contra el mármol, padece una compresion que hace entrar una parte mayor ó menor de esta esfera hácia su centro, haciéndole perder su forma redonda: un instante despues ya no queda sobre la bola señal alguna de esta compresion, por haber recuperado con su elasticidad la forma redonda; lo qual ocasiona el movimiento reflexo que padece la bola en semejante caso.

32 Lo que acabamos de decir prueba que la elasticidad supone necesariamente, en los cuerpos que participan de ella, cierta compresibilidad; pues un cuerpo que no fuese compresible no podria ser elástico, porque no pudiendo mudar de figura no se hallaria en el caso de recobrarla. Así como hemos hecho ver arriba (25, 26, 27 y 28) que todos los cuerpos son compresibles unos mas, y otros ménos, del mismo modo tambien es fácil concebir que todos son elásticos, pero en grados diferentes.

33 Consiste pues la elasticidad en que un cuerpo se restablezca, despues de haber sido comprimido, luego que cesa la accion de la fuerza comprimente; y para que esta elasticidad sea perfecta es preciso que el cuerpo se restablezca, 1.° completamente; 2.° con tanta prontitud como aquella con que fué comprimido; esto es, es indispensable que

Digitized by Google

el cuerpo vuelva precisamente al mismo estado que tenia ántes, y que le recobre en un tiempo tan corto como el que fué menester para hacérsele perder. Si exceptuamos la materia de la luz, y los fluidos aëriformes, no conocemos otros cuerpos que gocen de esta perfeccion de elasticidad; pues que ninguno se restablece completamente, y todos emplean en recobrar su estado mas tiempo que el que tardáron en perderle: entre estos últimos, no todos son elásticos en un mismo grado: en los unos es fácil de distinguir esta fuerza elástica, á causa de que los efectos son sensibles, y de que cada uno resiste mas ó ménos, segun la dureza, tenacidad y disposicion de sus partes internas. No solamente no es perfecta esta qualidad elástica, como acabamos de decir, sino que ántes va perdiendo su fuerza, como se observa quasi siempre; ó á lo ménos disminuye con el largo uso, ó con una compresion que dure demasiado. Un arco que se haya usado freqüentemente, ó por mucho tiempo, retiene en sí, al fin, una porcion de la curba que se le habia hecho tomar. La cerda, la lana y la pluma, sustancias elásticas de que nos servimos para nuestros muebles, pierden con la sucesion de tiempo quasi todo su resorte; y solo moviéndolas mucho, ó cardándolas de nuevo es como hacemos revivir en ellas esta elasticidad que nos es tan preciosa, y que nos proporciona tantas comodidades. Hay otros cuerpos que no se restablecen casi nada, y en los que los efectos de la elasticidad son quasi insensibles: en estos pues se suele mirar como nula su elasticidad, aunque realmente tengan alguna; y los llamamos *cuerpos blandos*, *cuerpos no-elásticos*, *cuerpos sin resorte*; lo que solo quiere decir, que estos cuerpos estan privados de un resorte bastante activo para que se le tenga ó value en alguna cosa: tal es por exemplo la tierra blanda.

Digitized by Google

Debe pues mirarse la elasticidad como una propiedad general de los cuerpos: como una propiedad que pertenece á todos indistintamente, aunque en un grado mayor ó menor; pues que no hay ningun cuerpo por blando que sea, en el que, si se observa atentamente, no se advierta á lo ménos una pequeña porcion de esta fuerza. Ni aun los líquidos estan esentos de esta propiedad, por ser capaces de transmitir los sonidos (1003); cosa que solo pueden hacer los cuerpos elásticos.

34 Hemos dicho que los cuerpos vuelven á tomar el estado que tenian ántes de la compresion, en virtud de su elasticidad; pero esto no se verifica hasta que se ha efectuado un número mas ó ménos grande de balances ó movimientos, llamados *vibraciones*; cuya naturaleza de ellas es tal, que siempre son isocronas ó de una misma duracion, ya sean grandes, ya sean pequeñas, ya tengan una mayor ó menor amplitud. A mas, en cada una de estas vibraciones se acelera la velocidad de la elasticidad, desde el punto de tension hasta el sitio de su reposo, y retarda despues en la misma proporcion al alejarse de él: el punto en donde la elasticidad obra con mas fuerza es el sitio de su reposo; por ser en este punto en donde tiene adquirida su mas grande velocidad.

35 Si hay algunos cuerpos que pierden en ocasiones su elasticidad, los hay tambien en quienes se la puede aumentar por diferentes medios empleados en las artes. Los cuerpos sonoros deben tener una elasticidad muy activa: la de los metales de que se hacen las campanas, campanillas, &c. se aumenta mezclándolos y haciéndolos fundir con otros metales ó semi-metales, que es lo que se llama *aligacion*; por haberse observado que una mezcla de esta especie es mas dura, mas firme y mas elástica que los

Digitized by Google

metales simples de que se compone.

36 La mayor parte de los metales, aun sin estar mezclados ó aleados, adquieren una elasticidad mayor y mas activa, quando se los bate en frio, ó trabaja á martillo; que es á lo que los artífices llaman *forjar*; y con cuya accion se aumenta la elasticidad de los metales.

EXPERIMENTO. Si se quiere tener la prueba de esto, córtense de una misma plancha de cobre dos hojas ó tiras que sean de unas mismas dimensiones: bátase una de ellas en frio sobre un ayunque, y en seguida tuérzanse ó encórvense las dos: inmediatamente que se las dexe en libertad, la que haya sido batida en frio ó forjada, volverá á tomar, sobre corta diferencia, su primer estado; y la otra conservará quasi enteramente la curvatura que se le habrá dado.

37 Pero entre todos los cuerpos cuya elasticidad se aumenta artificialmente, no hay ninguno sobre quien se produzca un efecto mas grande que sobre el acero; ni entre los diferentes procedimientos que se emplea para esto, en este metal, hay otro mas eficaz que el de templarle; lo qual consiste en calentar mucho el acero, y en enfriarle instantáneamente sumergiéndole en un licor frio. Por medio de esta operacion toma el acero una dureza y una elasticidad tanto mas grande, quanto mas se le ha calentado, y quanto mas frio se halla el licor en que se le sumerge. Pero si el temple ha producido un efecto mas grande que aquel que se necesita, se le puede moderar y disminuir la elasticidad por medio del *recocido*, que consiste en calentar moderadamente el acero, y en dexarle enfriar lentamente al ayre.

Es preciso tener presente que el acero no es un metal particular, sino un hierro preparado con la cementacion. Cada artífice tiene su cimiento parti-

Digitized by Google

cular, del que freqüentemente hacen un secreto; pero en todos entran materias carbonosas. Antes de ahora miraban al acero, la mayor parte de los químicos, como un hierro mas puro que aquel de que se le habia formado; pero padecian equivocacion. Está bien probado en el dia que el acero es un hierro combinado con el carbono ó principio carbonoso, que se ha unido al hierro durante la cementacion, y mezclado íntimamente con él; así, quando se rompe el hierro puro, se echa de ver que está compuesto de *hojas*; y al hacer lo mismo con el acero se notan muchos granitos pequeños, que son el producto de la mezcla del hierro extremamente dividido, y del carbono. Quando se calienta el acero, la accion del fuego (cuya propiedad bien conocida es el proporcionar la union de las materias homogéneas) hace salir de lo interior de sus moléculas una gran parte del principio carbonoso que se halla diseminado en ellas, pero sin que por esto le haga salir de la masa total. El temple pues se apodera del acero en un momento en que sus principios, aunque los mismos, estan ménos mezclados; lo qual es causa de que las moléculas esten compuestas de partes mas homogéneas, y de que se hallen al mismo tiempo ménos unidas entre sí; todo lo qual nos explica demasiado bien los diferentes fenómenos del temple.

1.° El grano del acero parece mas grueso despues del temple que ántes, por haberse formado cada molécula de un número mayor de partículas metálicas reunidas.

2.° El acero tiene un volúmen mas grande despues de haberle templado, por ser entónces menor su peso específico; lo qual procede de que el temple fixa al acero en un estado, en que la mezcla de sus principios es ménos completa.

3.° El acero es mas duro despues de templado;

Digitized by Google

porque siendo cada una de sus moléculas mas gruesa, toca á sus inmediatas con superficies mas grandes, lo que opone mayor dificultad para separarlas: á mas, siendo mas homogéneas las partes que componen cada molécula, se unen mas fácilmente y se adhieren con mas fuerza entre sí; y esto hace que sea mas dificil la descomposicion de esta molécula.

4.° El acero, aunque mas duro despues del temple, es no obstante mas quebradizo; á causa de ser menores la union de las moléculas entre sí, y la suma de las veces que se toçan unas á otras.

5.° El recocido ó accion de calentar el acero moderadamente, hace á este metal ménos quebradizo; por la razon de que un enfriamiento lento da á las partes el tiempo de mezclarse de nuevo; con lo que se aumenta la suma de las veces que se tocan unas á otras. Estos tocamientos inmediatos son sin duda la causa de la adherencia de las partículas entre sí, y por conseqüencia de la dureza de los cuerpos.

38 Aunque tengamos procedimientos ciertos para aumentar ó disminuir la fuerza de la elasticidad de muchos cuerpos (35, 36, 37), no por esto conocemos mejor, en general, la causa de la elasticidad; pues todo quanto se ha imaginado hasta el presente para dar razon de ella, no es mas que conjeturas mal fundadas, y freqüentemente desmentidas por la experiencia.

Se pretendió al principio, ser del ayre de quien dependia la elasticidad de los cuerpos; creyéndose que este fluido se introducia por los poros, entre las partes de los resortes extendidos, y que obraba en ellos, en términos que les obligaba á tomar su primer situacion; con lo que hacia fuesen elásticos estos cuerpos. Pero todo esto lo desmiente la experiencia, por verificarse la elasticidad en el vacío de Boyle, del mismo modo que al ayre libre.

Digitized by Google

Se recurrió pues, á otro fluido mucho mas sutil que el ayre comun, y se supuso ser elástico este mismo fluido; en conseqüencia de lo qual, se discurrió en esta forma: quando se encorva un resorte, se ensanchan los poros de la parte que queda convexa, y los de la parte cóncava se estrechan: las particulillas de este fluido elástico que se hallan en estos últimos poros, son otras tantas pelotillas de viento comprimidas, que en virtud de su elasticidad se dirigen á restablecerse en su primer estado, enderezando así el resorte. Pero aquí se supone como sabido lo que es el objeto de la qüestion; porque tratándose de la elasticidad de los cuerpos en general, siempre quedará sin averiguar la causa de la elasticidad de este fluido. ¿Será esta causa, aun otro fluido mas sutil, y que tambien sea elástico? Si se dice esto, preguntaremos qual es la causa de la elasticidad de este último fluido, y así hasta el infinito.

Decir que los cuerpos elásticos son tales, porque estan compuestos de partecillas, de las que cada una está dotada de una fuerza elástica, es un círculo vicioso bastante ridículo.

En fin, otros físicos atribuyen la elasticidad á la fuerza repulsiva que tienen entre sí las partículas de los cuerpos. Quando se comprime, dicen, un cuerpo elástico, se estrechan sus poros de modo, que entónces muchas partículas que estaban ántes á alguna distancia unas de otras, se aproxîman á la esfera de su repulsion recíproca; llegando á ser esta repulsion tanto mas fuerte, quanto mas aumenta la compresion; es decir, quanto mas se acercan las partes unas á otras. Esta es la causa, dicen, de que se aumente la elasticidad de los metales quando se los bate ó martilla en frio; pues quanto mas se repite esta operacion, mas elásticos se van volviendo. De aquí procede tambien, añaden, el que un cuerpo pueda su-

Digitized by Google

frir compresion sin recibir mucha elasticidad, quando sus poros son muy grandes. ¿No es esta tambien una suposicion sin fundamento? ¿Esta fuerza repulsiva no es pues diametralmente opuesta á la fuerza atractiva? Se pretende que las partículas de los cuerpos se atraen tanto mas eficazmente, quanto se tocan de mas cerca; y aquí se dice que se rechazan con tanta mayor viveza, quanto mas se acercan las unas á las otras. ¿No es esto suponer atracciones y repulsiones segun la necesidad que hay para ello, y enteramente voluntarias? Mas vale confesar ingenuamente, que ignoramos qual es la causa de la elasticidad de los cuerpos, que discurrir con tan poco fundamento.

Dilatabilidad.

39 La *dilatabilidad* es la propiedad que tienen los cuerpos de aumentar de volúmen, y de ocupar un espacio mas grande, en virtud de la fuerza de su resorte, luego que cesa de ser retenido por los obstáculos. La mayor parte de los físicos confunden la dilatacion con la rarefaccion, por lo que creo no será fuera de propósito el distinguir estas dos propiedades: bien es verdad que en uno y otro caso los cuerpos aumentan de volúmen; pero la rarefaccion es ocasionada por el calor (22), y la dilatacion lo es por la fuerza elástica; luego no se debe mirar como uno mismo dos efectos, que aunque semejantes en apariencia, son no obstante producidos por dos causas tan diferentes.

Todo cuerpo elástico (acabamos de manifestar (33) que no hay ninguno que no lo sea poco ó mucho) que está en un estado de contraccion, se extiende, aumenta de volúmen, y en una palabra, se *dilata*, luego que cesa de obrar la potencia que le retiene, ó que obra con ménos fuerza. El ayre sobre todo,

Digitized by Google

así como todos los fluidos aëriformes, tiene esta propiedad en un grado eminente; de suerte, que la mas pequeña porcion de ayre encerrada en un vaso, le llena siempre, por grande que sea; y si se tiene comprimido este fluido, emplea siempre, para dilatarse, un esfuerzo igual á la fuerza que le comprime (909). Esta es la razon de que tengan los cuerpos, al dilatarse por el efecto de su resorte, mucha mas fuerza al principio, que al fin de su dilatacion; á causa de que en este primer instante estan mucho mas comprimidos; y quanto mas grande es la compresion, tanto mas considerables son, la fuerza elástica, y el esfuerzo para dilatarse; de suerte que estas dos cosas, á saber, la fuerza comprimente, y la fuerza elástica, son siempre iguales.

Movilidad.

40 La *movilidad* es la facultad que tienen todos los cuerpos para recibir el movimiento que se les comunica. No hay cuerpo ninguno que no pueda ser puesto en movimiento por una fuerza suficiente para ello; de lo que se deduce ser la movilidad una propiedad general de los cuerpos, que pertenece á todos indistintamente, aunque no en un mismo grado; por estar fundada en ciertas disposiciones que no se encuentra igualmente en todos los cuerpos; y esto es lo que hace que los unos sean mas movibles que los otros, es decir, que no haya precision de emplear tanta fuerza para hacerles pasar del estado de reposo al de movimiento. Las principales de estas disposiciones son, la figura del cuerpo, lo mas ó ménos áspero de su superficie, y su masa ó la cantidad de materia contenida baxo su volúmen.

Suponagamos dos cuerpos de una misma sustancia, cuyas masas ó pesos sean iguales, las superficies igual-

mente bien tersas, y puestos ámbos á dos sobre un mismo plano; pero que el uno tenga una forma redonda, y el otro una figura cúbica, manifiesta la experiencia que una misma impulsion lleva al primero mas léjos que al segundo; y tambien, que el primer cuerpo conserva este movimiento mas largo tiempo que el otro. Luego la figura contribuye á la movilidad, pues que no difieren mas que en ella estos dos cuerpos.

Supongamos aun dos cuerpos de una misma sustancia, de masas iguales, y de una misma figura, puestos tambien ámbos á dos sobre un mismo plano; pero imaginemos que la superficie del uno es áspera, y que la del otro está bien pulimentada; esta diferencia, que es la única que hay entre estos dos cuerpos, es suficiente para que la misma impulsion lleve al último mas léjos que al primero. Luego lo mas ó ménos áspero de la superficie contribuye á la movilidad.

Supongamos, en tercer lugar, dos cuerpos perfectamente semejantes en su volúmen, en su figura, y en lo terso de su superficie, pero diferentes en su masa: por exemplo, dos bolas de un mismo diámetro, la una de madera, y la otra de plomo. Es evidente que la misma impulsion no enviará tan léjos á la última como á la primera; pues la menor masa en el uno de los dos le hace mas propio para ser puesto en movimiento. Luego la mayor ó menor masa contribuye á la movilidad; pues que un cuerpo que tiene ménos masa que otro, opone menor resistencia al esfuerzo que se dirige á hacerle mudar de estado.

Inercia.

41 La *inercia* de los cuerpos es la resistencia de que acabamos de hablar: es la accion con que todo

Digitized by Google

cuerpo resiste á toda variacion de estado, es decir, la accion con que resiste al movimiento quando se halla en reposo; ó con la que resiste al reposo ó á un movimiento mas pronto ó mas lento, quando está puesto en movimiento. Es pues la inercia una fuerza que reside en todos los cuerpos, y que está inherente á ellos en qualquier estado que se encuentren; pero no lo está en todos en un mismo grado, por ser siempre, del mismo modo que la pesantéz, proporcional á la masa ó á la cantidad de materia propia de cada cuerpo; es decir, que un cuerpo que tiene una masa dupla ó tripla de la masa de otro cuerpo, tiene una fuerza de inercia dupla ó tripla de la del otro cuerpo, y por esta fuerza resiste dupla ó triplamente á la fuerza que se dirige á vencerla.

42 Hay autores que han confundido la fuerza de inercia con la pesantéz; sin embargo, aunque estas dos fuerzas tengan de comun el ser proporcionales á la masa ó á la cantidad de materia propia de cada cuerpo, son no obstante esencialmente distintas la una de la otra. La pesantéz no exerce su accion mas que en una direccion, esto es, de arriba abaxo; pues que siempre y quando que un cuerpo cae libremente, cae perpendicular al horizonte; y la fuerza de inercia resiste en qualquier direccion que se haga esfuerzo para mudar el estado de un cuerpo.

43 Todo cuerpo, considerado precisamente como cuerpo, es esencialmente indiferente al reposo ó al movimiento, ó á un movimiento mas pronto ó mas lento; siendo el efecto necesario de esta indiferencia el de hacer perseverar al cuerpo en el estado en que se encuentra. En efecto, si un cuerpo está en reposo, no se pone en movimiento si no hay una fuerza positiva que le obligue á ello: si está en movimiento no se reduce al reposo sin un obstáculo

Digitized by Google

que le detenga ; y no se moverá mas pronta ó mas lentamente , sin una causa que aumente ó disminuya el movimiento que él tenia ya. Luego hay una fuerza residente en los cuerpos ; con la qual se dirigen á perseverar en el estado en que estan ; y á esta fuerza es á la que se llama *fuerza de inercia* ; siendo ella la causa de que resistan los cuerpos á toda mutacion de estado.

Supongamos un cuerpo *a* (*fig.* 2) de una magnitud y de un peso determinados ; por exemplo una bola de plomo de peso de dos libras , suspendida libremente , en un ayre tranquilo , de un hilo bastante largo *c a* ; y otra bola de plomo *b* del mismo peso, é igualmente suspendida de un hilo *c b*. La experiencia manifiesta , como lo haremos ver al hablar del movimiento de obscilacion (258) , que si se eleva uno de estos cuerpos , por exemplo *a* , á quatro grados de la línea vertical *c b* , y se le dexa abandonado á él mismo , luego que llegue al punto mas baxo *b* , habrá adquirido con su caida , si no encuentra en el camino algun obstáculo , una velocidad que le llevará á quatro grados del lado opuesto. Pero si el cuerpo *a* encuentra en el punto mas baxo , al cuerpo *b*, que le iguala en masa , y le choca , acredita la experiencia tambien que estos dos cuerpos no se elevarán juntos mas que á dos grados. El cuerpo *b* recibe una porcion del movimiento del cuerpo *a* , y este último pierde con el choque lo que el otro parece haber adquirido. Luego el cuerpo *b* opone una resistencia al cuerpo *a*, porque sin ella este último hubiera subido á quatro grados : luego un cuerpo en reposo hace una resistencia real al esfuerzo que se dirige á moverle. A mas , si el cuerpo *b* , en lugar de no pesar mas que dos libras, pesase diez y seis ó veinte , seria ménos desalojado por el choque del cuerpo *a* , y esto seria proporcionalmente al aumen-

Digitized by Google

to de su masa: luego un cuerpo en reposo opone al esfuerzo que se dirige á moverle, una resistencia proporcional á su masa; y á esta resistencia es á lo que se llama *fuerza de inercia.*

44 Opónese á este razonamiento algunas objeciones, á las que es preciso responder. Se pretende ser la resistencia del ayre la causa de la resisteneia del cuerpo *b*; diciendo que el cuerpo *b* en reposo, no resiste al esfuerzo del cuerpo *a*, sino porque está apoyado en el ayre que le rodea, y que es preciso desalojar. Se puede responder á esto, 1.° que los cuerpos que se chocan de este mismo modo en el vacío, resisten lo propio que al ayre libre, ó si hay algunas diferencias no son sensibles: luego no es del ayre de adonde procede esta resistencia; 2.° que la misma resistencia del ayre es parte de la qüestion presente, por tratarse en ella de la fuerza de inercia de los cuerpos en general; y si se conviene en que el ayre, en qualidad de materia, hace resistencia al movimiento de los cuerpos que se dirigen á desalojarle (cosa en que no se puede desconvenir), está probado que el ayre tiene una fuerza de inercia: ¿si el ayre en qualidad de materia tiene una fuerza semejante, por qué las otras materias no la tendrán tambien? 3.° si la resistencia que hace el cuerpo *b* en reposo, al esfuerzo del cuerpo *a*, viniese únicamente de la resistencia del ayre sobre que se apoya; seria preciso, para que esta resistencia fuese doble, hacer corresponder el cuerpo *b* á un volúmen de ayre una vez mas grande, y por conseqüencia doblar su superficie anterior. Ahora, la experiencia prueba que para hacer doble la resistencia del cuerpo *b*, es suficiente el doblar su peso; lo qual no dobla ni con mucho la superficie, y sobre todo en los cuerpos esféricos: luego es evidente que la resistencia de la bola *b* no procede en ningun modo de la del ayre.

Digitized by Google

45 Se objeta aun, que la fuerza de inercia y la pesantéz son una misma cosa, diciendo que la pesantéz de la bola *b* es la que se opone á su desalojamiento; porque, dicen, si ella no está detenida por algun obstáculo, tendrá el hilo de que está suspendida tan tirante como pueda estarlo, y en la situacion vertical *c b*, y se colocará en el punto mas baxo; de adonde no se la podrá hacer salir sin que esté mas elevada; de modo, que si se la lleva hasta 2, será su elevacion, mayor en la cantidad *b e*, y si hasta 4 en la cantidad *b d*, &c. para lo qual es preciso vencer su pesantéz, que hace esfuerzo para retenerla en el punto *b*: de aquí se concluye, que lo que se llama *fuerza de inercia* es la misma cosa que la pesantéz. No se puede negar que esta objecion es especiosa; sin embargo, ella misma se destruirá si se hace atencion á que, quando la bola está en el punto mas baxo *b*, se reduce á cero su pesantéz, á causa de estar totalmente vencida por el hilo *b c* que la tiene suspendida; por cuya razon no puede comenzar á hacerse sentir el esfuerzo de la pesantéz de la bola *b*, hasta que haya pasado del punto mas baxo á otro punto mas elevado: luego su desalojamiento debe preceder al esfuerzo de su pesantéz. Pero para obrar este desalojamiento, es preciso emplear una fuerza real; la qual, si es demasiado pequeña para desalojar la bola, no por esto es ménos, ó dexa de ser una fuerza real, y sin embargo no causa efecto alguno; en cuyo caso la bola *b* resiste á una fuerza real, y la destruye ántes de poder obrar como pesada: luego ella resiste con una fuerza independiente de su pesantéz, que es á lo que se llama *fuerza de inercia.*

Véase aquí, además, un razonamiento que no permite confundir los efectos de la inercia con los de la pesantéz. Supongamos dos cuerpos en todo se-

Digitized by Google

mejantes, de una misma materia, de una misma figura, de un mismo volúmen y de un mismo peso, que comienzan á caer libremente en el vacío, de una misma altura, y ámbos á dos en un mismo instante: es indubitable que estos dos cuerpos obedecerán completamente á su pesantéz, que descenderán ámbos á dos con la misma velocidad, y con toda la que exíge su pesantéz, y que llegarán los dos juntos al plano que termine su caida. Pero si se quiere que el uno de ellos preceda al otro en su caida, es preciso añadir otra fuerza al esfuerzo de su pesantéz; es preciso darle una nueva impulsion, que no puede recibir de su pesantéz, pues que suponemos que él la obedece completamente. Ahora, todo lo que exíge una fuerza para ser producido, es una verdadera resistencia: luego este cuerpo que cayendo con libertad, obedece completamente á su pesantéz, resiste á un movimiento mas pronto que aquel que le viene de su pesantéz: luego resiste con una fuerza independiente de su pesantéz, que es á lo que se llama *fuerza de inercia*.

CAPITULO II.

DEL MOVIMIENTO Y DE SUS LEYES.

46 *Movimiento* es el estado en que se halla un cuerpo quando pasa ó se lleva de un lugar á otro, ya sea en totalidad, ya solamente con respecto á sus partes: puede un cuerpo estar en movimiento de dos modos, ó en totalidad, como un coche tirado por caballos, ó un barco que lleva la corriente de un rio, que uno y otro varían continuamente de lugar y de relaciones con los objetos que los rodean; ó solamente con respecto á sus partes, como las alas ó aspas

Digitized by Google

de un molino de viento que vuelven al mismo sitio, por pasar sucesivamente cada una de sus partes por todos los puntos de la circunferencia del círculo que describen. Luego un cuerpo se mueve siempre que muda de relacion ó de situacion respectivamente á los objetos que le rodean, sea de cerca ó de léjos: por exemplo, un hombre sentado en un coche que camina, varía continuamente de relaciones, si no con la caxa del coche ó con las personas que le acompañan, á lo ménos con respecto á los diferentes sitios por donde vá pasando; por lo que no se podrá decir se halla en reposo, aunque se mantenga muy quieto. Si yo encuentro á mi derecha un objeto que estaba ántes á mi izquierda, concluyo de aquí que ha habido un movimiento, pues que se han mudado las relaciones; pero si no hay nada que me indique qual de los dos, el objeto ó yo, se ha mudado, v. g. si ha sido el objeto que ha pasado de mi derecha á mi izquierda, ó yo que me he vuelto, no podré saberlo ciertamente; y solo podré presumir lo uno ó lo otro. He aquí la razon de haberse estado tanto tiempo para saber si era el sol el que giraba al rededor de la tierra, ó esta al rededor del sol; por ser unas mismas las apariencias en uno y en otro caso: así, ha sido preciso echar mano de otros medios para manifestarnos es la tierra la que gira al rededor del sol: mas adelante veremos quales son estos medios.

47 Hay muchas especies de movimientos: á saber: *movimiento absoluto*, *movimiento relativo*, *movimiento simple*, *movimiento compuesto*, *movimiento rectilíneo*, *movimiento curvilíneo*, *movimiento reflexo*, y *movimiento refracto*; pero ántes de hablar de estas diferentes especies de movimientos, es preciso tomar algunas nociones preliminares y generales para todos.

Digitized by Google

48 En un cuerpo que se mueve, hay muchas cosas que considerar: 1.° la fuerza motriz que imprime el movimiento á este cuerpo; 2.° la masa de este cuerpo, con la qual resiste á la fuerza que intenta hacerle salir de su estado; 3.° la direccion que toma este cuerpo en su movimiento, ya sea simple, ya sea compuesto; 4.° el espacio que corre este cuerpo; 5.° el tiempo que emplea en correr este espacio; 6.° la velocidad del movimiento de este cuerpo, es decir, la relacion del espacio que corre, y del tiempo que emplea en correrle; y 7.° la cantidad de movimiento de este cuerpo.

1.° *Fuerza motriz.*

49 1.° No hay cuerpo que no resista, en virtud de su inercia, á toda variacion de estado (45): luego un cuerpo que está en reposo no se pondrá jamas en movimiento, si no hay una causa suficiente que le imprima este movimiento: á esta causa activa que imprime, ó que, á lo ménos, se dirige á imprimir el movimiento al cuerpo, es á lo que se llama *fuerza motriz*: luego no se verifica movimiento ninguno, sin fuerza motriz suficiente para imprimirle. Se llama pues *fuerza motriz*, la de uno ó de muchos cuerpos empleados para mover á otros: tal es una impulsion dada á un cuerpo para hacerle caminar en una direccion qualquiera.

Hasta *Leibnitz*, se habia siempre creido que esta fuerza debia valuarse, en toda suerte de casos indistintamente, por el producto de la masa del motor multiplicada por su velocidad [1]. Pero *Leibnitz*,

[1] Si expresamos la fuerza, masa y velocidad del cuerpo motor, con las letras iniciales, F, M y V, tendremos la equacion F = M V; y suponiendo que la masa del cuerpo sea igual á 4, y la

Digitized by Google

estableció el primero una distincion entre la fuerza motriz que obra contra un obstáculo invencible, y la que obra sobre un obstáculo que cede; llamando á la primera *fuerza muerta*, y conviniendo, con todos los físicos, en que se debe valuar multiplicando la masa por la simple velocidad; y á la segunda *fuerza viva*, pretendiendo que para apreciarla segun su justo valor, es preciso multiplicar la masa, no por la simple velocidad, sino por su quadrado; es decir, que si la velocidad es 3, por exemplo, no se ha de multiplicar la masa solamente por 3, sino por 9, que es el quadrado de 3 [1]. Alegó, en favor de su opinion, razonamientos y experimentos especiosos, y no le han faltado algunos defensores entre físicos muy doctos; pero á pesar de esto, el mayor número de ellos han mirado su opinion como una paradoxa. Exâminaremos esta qüestion, hablando de estas dos fuerzas.

Fuerza muerta.

50. La fuerza muerta es aquella que obra sobre un obstáculo invencible; consiste por conseqüencia en una simple tendencia al movimiento, que no produce efecto alguno en el obstáculo sobre que obra. Tal es, por exemplo, la fuerza de un cuerpo pesado que se dirige á descender, pero que está puesto sobre una mesa, ó suspendido de una cuerda. Este

velocidad 3, si sostituimos en la equacion precedente los valores de M y de V, hallaremos que $F=4\times3=12$. Mas adelante (56) veremos como se valúa la velocidad de un cuerpo puesto en movimiento. *Nota del Traductor.*

[1] Si, como diximos en la nota pasada, llamamos F, M, V, á la fuerza, masa y velocidad del cuerpo motor, tendremos la equacion $F=MV^2$; y haciendo $M=4$, y $V=3$, hallaremos que $F=4\times3^2=4\times9=36$: valuacion de la fuerza viva, segun la opinion de *Leibnitz*. *Nota del Traductor.*

Digitized by Google

cuerpo pues, no podrá descender, por impedírselo la resistencia de la mesa ó de la cuerda; pero sin embargo, oprime la mesa, ó estira la cuerda, mostrando con esto su tendencia al movimiento, que no puede tener efecto en tanto que estos obstáculos invencibles se opongan á él. Luego esta presion del cuerpo pesado está sin efecto en estos dos casos, ó mas bien los efectos que produce, es decir, la tensión de la cuerda, y la presion de la mesa, son efectos que no consumen la causa comprimente; la qual no pierde nada de su fuerza, pues que no la despliega ó extiende; sino que solo se dirige á ello. Luego quando los obstáculos son invencibles, es destruida por ellos á cada momento, la accion de la fuerza que se dirige á desalojarlos, y reproducida asimismo á cada instante por el esfuerzo continuo que hace la fuerza comprimente para vencer esta resistencia. Así, los pequeños grados que imprime la fuerza comprimente al obstáculo que retiene su accion, perecen al nacer, y nacen al perecer; consistiendo en esta alternativa de produccion y de destruccion el efecto de la pesantéz de un cuerpo, quando está retenido por un obstáculo invencible. A esta presion pues, tan pronto destruida como producida, y á esta fuerza que la causa comprimente se dirige á desplegar sin efecto alguno, es á lo que se llama *fuerza muerta*. Arriba hemos dicho (49) que la fuerza muerta de un cuerpo se aprecia ó se valúa, por el producto de su masa multiplicada por su velocidad inicial, es decir, por la velocidad que tendria en el primer instante, si el obstáculo que le retiene llegase á ceder.

Fuerza viva.

51 La *fuerza viva* es la de un cuerpo que se halla en movimiento, que obra contra un obstáculo que

Digitized by Google

cede, y que produce un efecto sobre él. Tal es la fuerza de un cuerpo que va á chocar á otro con una velocidad determinada, y que en conseqüencia de su choque le arroja á una cierta distancia. Se habia siempre valuado esta fuerza, como hemos dicho mas arriba (49), del mismo modo que la fuerza muerta, por el producto de la masa multiplicada por la simple velocidad; pero *Leibnitz* creyó ser preciso apreciarla por el producto de la masa multiplicada por el quadrado de la velocidad. Por opuesta que sea esta opinion á los principios conocidos y adoptados en todo tiempo, ha encontrado no obstante algunos defensores; lo qual ha formado un proceso literario, cuyas piezas en pro y en contra se hallan consignadas en muchas obras, sobre todo en el 21 y último capítulo de una obra en 8.° intitulada: *Institutions de phisique*, escrita por la Marquesa du *Châtelet*, en donde ha reunido todo quanto se puede decir en favor de las fuerzas vivas; y en otra obra en 12.° intitulada: *Dissertation sur l' estimation et la mesure des Forces motrices des corps*, por Mr. de *Mairan*, en la qual ha combatido fuertemente este autor la opinion de *Leibnitz* [1]. Los experimentos que para prueba presenta uno y otro partido, estan confesados de todo el mundo; así, la diferencia que se encuentra entre ellos es relativa á las conseqüencias que cada uno saca de estos experimentos.

Se supone, por exemplo, en favor de las fuerzas vivas dos bolas *a* y *b* de una misma materia, de una misma masa, y de un mismo volúmen, que se dexan caer libremente de alturas convenientes, la una *a* durante un segundo, y la otra *b* durante dos

[1] Los principales argumentos puestos por los partidarios de las fuerzas vivas, y las respuestas dadas á ellos, se hallan en la obra elemental de matemática, compuesta por Don Benito Bails, tom. 4.° pág. 289. *Nota del Traductor.*

Digitized by Google

segundos, 1.° sobre tierra blanda: es cierto que la bola *b* hace en esta tierra blanda un hoyo ó profundidad quadruplo del que hace la bola *a*, y que *b* desaloja quatro veces tanta materia como desaloja *a*. 2.° Se supone que estas bolas caen de las mismas alturas, y durante los mismos tiempos que arriba, sobre un plano perfectamente elástico: en este caso, prescindiendo de la resistencia del intermedio, suben estas dos bolas, en virtud de la reaccion que es igual á la compresion (112), cada una durante un tiempo igual al que tardáron en descender; á saber, *a* durante un segundo, y *b* durante dos segundos; pero *b* sube á una altura quadrupla de la altura á que sube la bola *a*. Se dice que en este caso la bola *b* no recibe mas que dos grados de velocidad, en tanto que la bola *a* recibe uno; y sin embargo los efectos que produce *b*, son quadruplos de los que produce *a*: *b* desaloja quatro veces tanta tierra como desaloja *a*: luego su impulsion sobre la tierra blanda es quadrupla de la de *a*: *b* en virtud de la reaccion sube á una altura quadrupla de la altura á que sube *a*: luego su compresion sobre el plano es quadrupla de la de *a*. De adonde se concluye que las fuerzas vivas son como los quadrados de las velocidades [1], y no

[1] Esto se deberá entender quando las masas son iguales; porque si las fuerzas vivas se han de valuar por el producto de la masa multiplicada por el quadrado de la velocidad; y ponemos en comparacion las fuerzas vivas de dos cuerpos, expresando la fuerza, masa y velocidad del uno con las mayúsculas F, M, V, y las del otro con las minúsculas f, m, v, tendremos las dos equaciones $F = M V^2$, y $f = m v^2$; de las que formando la proporcion $F : f :: M V^2 : m v^2$, sacaremos, multiplicando extremos y medios, la fórmula general de las fuerzas vivas $F m v^2 = f M V^2$. Si en esta fórmula pues, hacemos $M = m$, nos dará $F : f :: V^2 : v^2$; que quiere decir, que quando las masas de dos cuerpos son iguales, sus fuerzas son como los quadrados de las velocidades.

Si en la expresada fórmula $F m v^2 = f M V^2$ hacemos $V^2 = v^2$, podremos formar la proporcion $F : f :: M : m$; esto es, que quando

como las simples velocidades ; y que para tener su justo valor, es preciso apreciarlas por el producto de la masa multiplicada por el quadrado de la velocidad, y no por la simple velocidad.

Se ha respondido á esto que para comparar con exáctitud las fuerzas de dos cuerpos, es preciso que las circunstancias sean iguales de una y otra parte, y tener una medida comun, que es el tiempo durante el qual obra cada móvil. Pero la bola *b* que con una velocidad doble produce un efecto quadruplo, le produce en un tiempo doble: luego se debe concluir de aquí que su fuerza no es mas que doble en un tiempo igual, es decir, en razon de la velocidad simple, y no del quadrado de la velocidad. En efecto, supongamos que dos hombres, *Santiago* y *Juan*, van caminando; que *Santiago* camina una legua en una hora, y que *Juan* camina quatro leguas en dos horas: es evidente que el efecto producido por la fuerza de *Juan* es quadruplo del producido por la fuerza de *Santiago*. Sin embargo, no se concluirá de aquí que la fuerza de *Juan* es quadrupla de la de *Santiago*; pues para que esto fuese cierto, se necesitaria que *Juan* anduviese quatro leguas en el mismo tiempo que *Santiago* emplea en andar la una; lo que no es así, sino que emplea un tiempo doble. Luego *Juan*, en un tiempo igual, solo pro-

las velocidades son iguales, las fuerzas son como las masas; y si $F = f$ tendremos $V^2 : v^2 :: m : M$; es decir, que quando las fuerzas que se imprime á dos cuerpos son iguales, sus velocidades son inversamente como las raices quadradas de las masas, ó estas inversamente como los quadrados de las velocidades.

La proporcion $F : f :: M V^2 : m v^2$, de adonde hemos deducido la fórmula general $F m v^2 = f M V^2$, debe entenderse en el caso en que se quiera seguir la opinion de *Leibnitz*; pero habiendo de seguirse la que se halla mas generalmente admitida, será la proporcion $F : f :: M V : m v$; y la fórmula general $F m v = f M V$; de la que se deduce que si $M = m$, $F : f :: V : v$; si $V = v$, $F : f :: M : m$; y si $F = f$, $V : v :: m : M$. *Nota del Traductor.*

Digitized by Google

duce un efecto doble del de *Santiago*, es decir, en razon de su simple velocidad; y su efecto total no es por otra cosa quadruplo, sino porque con una velocidad doble camina durante un tiempo doble. Así el efecto que produce *Juan* es quadruplo del que produce *Santiago*, no porque 4 es el quadrado de 2, sino porque 2 mas 2 son quatro. Sin embargo de hallarse divididos los pareceres sobre el modo de valuar las fuerzas de los cuerpos en movimiento, ó lo que se llama *fuerzas vivas*, se está perfectamente de acuerdo sobre el producto de estas fuerzas, y sobre los efectos que deben resultar de ellas. Todos convienen, con los defensores de las fuerzas vivas, en que los efectos son quadruplos de la parte de un cuerpo que se mueve con dos grados de velocidad, comparado con el que no tiene mas que uno; pero, como acabamos de decir, no es esto porque 4 es el quadrado de dos, sino solamente porque el móvil que tiene dos grados de velocidad, hace un esfuerzo que se repite dos veces tanto como el de un móvil que se mueve con un solo grado de velocidad. Si se hace pues entrar en cuenta la consideracion de los tiempos, se puede, sin error, apreciar indistintamente, en la práctica, la fuerza de los cuerpos por el producto de la masa multiplicada por la simple velocidad actual, si se mueven realmente; y si estan detenidos por algunos obstáculos invencibles, por su tendencia al movimiento, que es como su masa y su velocidad inicial, es decir, aquella con que comenzarian á moverse si el obstáculo llegara á ceder. Se puede tambien, comunmente, valuar la fuerza de los cuerpos en movimiento por el producto de la masa multiplicada por el quadrado de la velocidad, cuya operacion es mas corta. Digo *comunmente*, porque este modo de valuar las fuerzas no es aplicable en todos los casos, como por exemplo,

en aquellos en que los cuerpos van á chocarse con movimiento en direccion contraria; lo qual prueba Mr. de *Mairan*, con un experimento que trae contra las fuerzas vivas, y cuyo resultado está reconocido y confesado por las dos partes: con lo que se manifiesta lo defectuoso de la opinion de *Leibnitz*.

Es este experimento el de dos cuerpos blandos, ó elásticos que caminan á chocarse con movimientos contrarios, y con velocidades que estan entre sí en razon inversa de sus masas; porque se sabe, que resulta el reposo ó quietud de estos cuerpos si son blandos y sin elasticidad (145); y un retroceso hácia atrás, despues del choque, con las mismas velocidades que ántes de él, si los cuerpos tienen una elasticidad perfecta (153); lo qual prueba que se chocan con fuerzas iguales. No sucederia esto, si las fuerzas fuesen como los quadrados de las velocidades; pues el cuerpo, por exemplo, que tuviese 6 de velocidad con 2 de masa, y por consequencia 72 de fuerza, deberia necesariamente llevarse consigo, al que con 6 de masa no tendria mas que dos de velocidad, y por lo mismo solo 24 de fuerza [1].

Se ha respondido á esto que este triplo de fuerza que tiene el cuerpo que se mueve con 6 de velocidad, se consume en las profundidades ú hoyos, y en los desalojamientos de materia que hace en el cuerpo, que no tiene mas que 2 de velocidad. Pero, dice Mr. de *Mairan*, ¿quál es el punto de apoyo de los esfuerzos necesarios para producir estos hoyos y esta reconcentracion de materia? ¿qué es lo que los

[1] Sostituyendo en las equaciones, que indicamos en la nota anterior (51), $F = M V^2$, $f = m v^2$, los valores expresados arriba, tendremos que los de la velocidad y masa 6 y 2 del primer cuerpo darán $F = 2 \times 6^2 = 2 \times 36 = 72$; y los valores del segundo cuerpo, 2 de velocidad, y 6 de masa, darán $f = 6 \times 2^2 = 6 \times 4 = 24$. *Nota del Traductor.*

Digitized by Google

sostiene con una reaccion igual á la accion? ¿es el centro de gravedad de la masa tripla, que no tiene mas que 2 de velocidad? ¿esta misma masa no consume tanto de su fuerza en sostener los esfuerzos de estos desalojamientos de materia, como pierde de la suya para producirlos el cuerpo que choca? ¿y lo que ella consume de su fuerza, no la dispone otro tanto para ceder? Con respecto á esto, no hay esfuerzo alguno perdido, ó mas bien los que se pierden de una parte, son comunicados por la otra en virtud de un cambio recíproco. Así, la masa inferior en fuerza, deberia ser vencida.

Se hace esto mas palpable aun en el caso de los cuerpos elásticos; por la razon de que los hundimientos y aplanamientos que sufren mútuamente en el choque, son, en virtud del restablecimiento que sucede á estos hundimientos, el orígen mismo de la fuerza necesaria para que retrocedan los cuerpos con las mismas velocidades, despues del choque, que tenian ántes de él. Luego si las fuerzas fuesen como los quadrados de las velocidades, el cuerpo que no tuviese mas que 2 de velocidad, y 6 de masa, seria repelido hácia atrás por el choque del que tuviese 2 de masa, y 6 de velocidad, con mas fuerza ó velocidad que tenia ántes del choque; lo que es contrario á la experiencia.

Se podrá pues valuar las fuerzas motrices multiplicando las masas, ó por la velocidad simple, añadiendo la consideracion de los tiempos, ó por el quadrado de la velocidad, exceptuando el caso en que los cuerpos van á chocarse con movimientos en direccion contraria.

2. *Masa de los cuerpos.*

52 2.º Los cuerpos resisten igualmente al movi-

Digitized by Google

miento y al reposo en virtud de su fuerza de inercia (41); la qual es proporcional á su masa, ó á la cantidad de materia que contienen, por pertenecer esta fuerza á cada parte de la materia. Luego un cuerpo resiste al movimiento que se le quiere imprimir, tanto mas, quanto mas masa tiene, siendo todo lo demas igual. Así, quanto mas masa tiene un cuerpo, ménos velocidad adquiere con una misma impulsion; de adonde se deduce que las velocidades de los cuerpos que sufren impulsiones iguales, estan en razon inversa de sus masas [1].

3. *Direccion de los movimientos.*

53 3.º No se puede dar movimiento que no tenga una direccion particular; así, todo cuerpo que se mueve, se dirige hácia algun punto, y á esto es á lo que se llama direccion. Si este cuerpo no obedece mas que á una sola fuerza, ó á muchas con direcciones semejantes, se mueve con un movimiento simple, y no se dirige mas que á un solo punto. Si muchas potencias, con direcciones diversas, impelen al cuerpo á un mismo tiempo, se dirige á muchos puntos; pero como no puede caminar hácia muchas partes de una vez, se compone su movimiento, y toma una direccion media entre las de las potencias á quienes obedece (160); en cuyo caso procede como un cuerpo que se mueve con movimiento simple, no dirigiéndose mas que á un solo punto. La línea tirada de este cuerpo al punto hácia quien se dirige, ya se mueva con un movimiento simple, ya con un movimiento compuesto, representa la di-

[1] En la nota penúltima á esta, hemos visto que si en la fórmula general de las fuerzas vivas $F m v = f M V$, hacemos $F = f$, resulta que las velocidades son inversamente como las masas: esto es, $M : m :: v : V$, en razon inversa. *Nota del Traductor.*

reccion del movimiento de este cuerpo; y si se mueve, correrá ciertamente esta línea, á ménos que su movimiento no esté compuesto de potencias cuyas relaciones varien (168); que en este caso, correrá una línea curba, compuesta, sin embargo de esto, de líneas rectas, infinitamente cortas, insensiblemente inclinadas entre sí, y formando juntas ángulos muy obtusos.

4. *Espacio corrido.*

54 4.° El espacio que corre un cuerpo, es la línea descrita por este cuerpo durante su movimiento. Si el cuerpo que se mueve fuese un punto, el espacio corrido no será mas que una línea matemática; pero como no hay cuerpo ninguno que no sea extenso (6), tiene siempre alguna latitud el espacio corrido; sin embargo, quando se mide el espacio corrido por un cuerpo, no se hace atencion mas que á su longitud, que puede ser mas ó ménos grande.

5. *Tiempo empleado.*

55 5.° Un cuerpo emplea necesariamente un tiempo qualquiera en correr un espacio. Si el cuerpo *a* (*fig.* 3) corre el espacio *a b*, se pasará una porcion de tiempo en tanto que camina de *a* á *b*, por pequeño que sea el espacio *a b*; porque el momento en que este cuerpo estará en *a*, no será el mismo en que estará en *b*, no pudiendo estar un cuerpo en dos lugares á un mismo tiempo. Así, todo espacio corrido lo está en un tiempo qualquiera, que puede ser mas ó ménos largo.

Digitized by Google

6. *Velocidad.*

56 6.° La velocidad de un cuerpo que se mueve, es la facultad que tiene de correr un cierto espacio en un cierto tiempo: de modo, que quanto mayor es este espacio, y corto el tiempo, mas considerable es la velocidad. Luego la velocidad de un cuerpo es la relacion que hay entre el espacio que corre, y el tiempo que emplea en correrle; no verificándose ningun movimiento sin que tenga alguna velocidad. Para conocer esta velocidad no se necesita mas que dividir el espacio por el tiempo; del mismo modo que para conocer el espacio se multiplica la velocidad por el tiempo. Sea, por exemplo, un cuerpo que corre 1000 varas en 10 minutos; será su velocidad de 100 varas por minuto, por ser 100 el quociente de 1000 dividido por 10. Si se compara la velocidad de dos cuerpos, se tendrá la relacion siguiendo la misma regla. Supongamos, por exemplo, que un cuerpo *a* corre 54 varas en 9 minutos, y que un cuerpo *b* corre 96 en 6 minutos; será pues la velocidad del cuerpo *a* á la del cuerpo *b* como 6 quociente de 54 dividido 9 es á 16 quociente de 96 dividido 6 [1].

[1] Si llamamos E, V, T, al espacio, velocidad, y tiempo, tendrémos $V = \frac{E}{T}$, de cuya equacion sale $E = V\,T$, y $T = \frac{E}{V}$; y si llamamos al espacio que corre otro cuerpo e, á su velocidad y tiempo v y t, tendrémos $v = \frac{e}{t}$, $e = v\,t$, y $t = \frac{e}{v}$; y formando proporcion de las dos equaciones $V = \frac{E}{T}$ y $v = \frac{e}{t}$, nos dará $V : v :: \frac{E}{T} : \frac{e}{t}$; que quiere decir, que las velocidades de dos móviles son en general, como los espacios corridos divididos por los tiempos empleados en correrlos. *Nota del Traductor.*

Digitized by Google

Se sigue de aquí, que dos cuerpos que corren espacios desiguales en tiempos desiguales, tienen sus velocidades como los espacios corridos, divididos por los tiempos empleados en correrlos, como en el exemplo puesto arriba. Si estos dos cuerpos corren espacios desiguales en tiempos iguales, sus velocidades estan entre sí en razon directa de los espacios corridos: si el cuerpo *a*, por exemplo, corre 200 varas en 2 minutos, y el cuerpo *b* no corre mas que 100 varas en el mismo tiempo, estan sus velocidades entre sí como 200 con 100, ó como 2 con 1 [1]. Pero si estos dos cuerpos corren espacios iguales en tiempos desiguales, estan sus velocidades entre sí en razon inversa de los tiempos empleados en correr los espacios: si los dos cuerpos *a* y *b* corren 200 varas, á saber, *a* en 1 minuto, y *b* en 2, la velocidad de *a* es á la de *b*, como 2 es á 1, en razon inversa de los tiempos [2].

La velocidad de un cuerpo que se mueve, puede ser uniforme, acelerada, ó retardada.

57 Es *uniforme* la velocidad de un cuerpo, quan-

[1] Multipliquemos extremos y medios de la proporcion $V : v :: \frac{E}{T} : \frac{e}{t}$, puesta en la nota anterior, y sacaremos $\frac{Ve}{t} = \frac{vE}{T}$, de cuya equacion saldrá, haciendo desaparecer las fracciones, la fórmula general del movimiento $V\,e\,T = v\,E\,t$. Si suponemos que dos cuerpos corren espacios desiguales en tiempos iguales, los factores T y *t* de la fórmula general serán iguales; y suprimiéndolos quedará esta reducida á $V\,e = v\,E$, que en proporcion da, $V : v :: E : e$, esto es, que las velocidades son como los espacios, quando los tiempos son iguales. *Nota del Traductor.*

[2] Si en la fórmula general $V\,e\,T = v\,E\,t$, hacemos $e = E$, quedará la equacion $V\,T = v\,t$, que en proporcion da $V : v :: t : T$; esto es, que quando los espacios son iguales, estan las velocidades en razon inversa de los tiempos; y si $V = v$, $e\,T = E\,t$, que en proporcion da $E : e :: T : t$; es decir, que quando las velocidades son iguales, estan los espacios en razon directa de los tiempos. *Nota del Traductor.*

Digitized by Google

do corre espacios iguales en tiempos iguales. Supongamos, por exemplo, que un cuerpo corre una vara en un segundo, otra vara en el segundo siguiente, lo mismo en el tercer segundo, y así de seguida, de modo que los tiempos y los espacios corridos en cada tiempo sean siempre iguales entre sí: este cuerpo tendrá una velocidad uniforme. Se concibe fácilmente, que esta uniformidad de velocidad es posible; pero muy rara en el estado natural, á causa de los obstáculos inevitables que ocasionan, á cada instante, alguna variacion en los movimientos de los cuerpos (76 y 96).

58 Es *acelerada* la velocidad de un cuerpo, si durante tiempos iguales y sucesivos, corre espacios que van siempre aumentando de mas á mas; ó si corre espacios todos iguales entre sí, pero en tiempos que decrecen cada vez mas. Tal es la velocidad de un cuerpo que cae libremente, y que va mas aprisa hácia el fin de su caida que al principio (214).

59 Es *retardada* la velocidad de un cuerpo, si, en tiempos iguales y sucesivos, corre espacios que van siempre decreciendo de mas á mas, ó si corre espacios todos iguales entre sí, pero en tiempos que aumentan cada vez mas. Tal es, por exemplo, la velocidad de una bola que rueda sobre el terreno, y que va aminorando su movimiento poco á poco, hasta quedar reducida al estado de reposo.

Se divide tambien la velocidad de los cuerpos, en velocidad absoluta, velocidad relativa, y velocidad respectiva.

60 La velocidad *absoluta* de un cuerpo es aquella que consideramos en sí misma y sin relacion alguna con la velocidad de otro cuerpo; como quando se considera la velocidad de un caballo que anda quatro leguas en dos horas; la qual velocidad es de dos leguas por hora. Luego la velocidad propia y

Digitized by Google

absoluta de un cuerpo no es mas que la relacion del espacio que corre, y del tiempo que emplea en correrle.

61 La velocidad *relativa* de un cuerpo es aquella que se compara con la de otro cuerpo, como quando comparamos la velocidad de dos caballos que corren el mismo número de leguas, pero que el uno emplea mas tiempo que el otro en correr este espacio; en cuyo caso, son entre sí sus velocidades inversamente como los tiempos empleados (56). Así, sí el uno emplea una hora, y el otro dos, será la velocidad del primero á la del segundo, como 2 es á 1. Si estos dos caballos caminasen durante un mismo tiempo, pero que el uno de los dos anduviese mas camino que el otro, estarian entónces sus velocidades en razon directa de los espacios corridos. Así, si el uno corria un espacio doble del que corria el otro, su velocidad seria dupla de la del otro. [1]

62 La velocidad *respectiva* es aquella con que se corre el espacio que separa dos cuerpos, ó enteramente por uno de los dos, ó en parte por el uno, y en parte por el otro, es decir, sea que uno de los dos cuerpos quede en reposo, en tanto que el otro corre el espacio entero, sea que se muevan los dos

[1] En la nota anterior hemos dexado ya indicados estos dos casos; porque si en la fórmula general del movimiento $V e T = v E t$, hacemos $e = E$, esto es, que sean iguales los espacios corridos, primer caso que propone el autor, nos quedará la equacion $V T = v t$, que en proporcion da, $V : v :: t : T$: las velocidades inversamente como los tiempos empleados.

El segundo caso es aquel en que los tiempos son iguales: así, si en la fórmula general $V e T = v E t$, son iguales los factores T y t, quedará la equacion $V e = v E$; que puesta en proporcion da $V : v :: E : e$; esto es, las velocidades directamente como los espacios. *Nota del Traductor.*

Digitized by Google

en una misma direccion, ó en direccion contraria con velocidades iguales ó desiguales. De modo, que si dos cuerpos *a* y *b* (*fig.* 4) distantes uno de otro 4 varas, se juntan en un segundo, es siempre la misma la velocidad respectiva de estos dos cuerpos, sea que *a* solo, corra el espacio entero; sea que *b* viniendo á él, le encuentre, por exemplo, en 3; sea que *b* caminando en la misma direccion que *a*, corra, por exemplo, 3 varas, en tanto que *a* corre 7, &c. con tal que en todos los casos se junten los dos cuerpos exâctamente en 1 segundo. Esto hace ver claramente que no se debe confundir la velocidad respectiva con la velocidad absoluta ó propia de cada cuerpo (60); porque solo en el primer caso, es la misma la velocidad absoluta de *a* que su velocidad respectiva, es decir, de 4 varas por segundo; y la velocidad absoluta de *b* es igual á cero. Pero en el segundo caso, la velocidad absoluta de *a* es de 3 varas, la de *b* de 1 vara; y la velocidad respectiva, de 4 varas por segundo. En el tercer caso, la velocidad absoluta de *a* es de 7 varas, la de *b* de 3 varas; y la velocidad respectiva siempre de 4 varas por segundo.

Se llama tambien, y en el mismo sentido, *velocidad respectiva*, aquella con la qual se alejan dos cuerpos, el uno del otro, de un cierto espacio en un tiempo determinado, sean las que sean sus velocidades absolutas.

7. *Cantidad de movimiento.*

63 7.° Se aprecia ó valúa la *cantidad de movimiento* de un cuerpo, multiplicando la masa de este cuerpo por su velocidad, por ser estas proporcionales á aquella; de suerte, que el mismo cuerpo tiene mas movimiento quando tiene, ó mas masa,

Digitized by Google

mas velocidad; ó lo que es lo mismo, de dos cuerpos cuyas masas son iguales, aquel que tiene mas velocidad, tiene mas movimiento; y de dos cuerpos cuyas velocidades son iguales, aquel que tiene mas masa, tiene mas movimiento; por la razon de que la velocidad que se imprime á un cuerpo qualquiera pertenece á cada parte de este cuerpo; de modo que si se desuniesen, cada una continuaría moviéndose con el mismo grado de velocidad que se le imprimió al cuerpo entero; prescindiendo de los obstáculos, que aumentan en conseqüencia de la division. Supongamos, por exemplo, que un cuerpo *a* que tiene 4 de masa, y un cuerpo *b* que tiene 2 de masa, se mueven cada uno con 6 grados de velocidad; y al cuerpo *a* considerémosle dividido en dos partes iguales, moviéndose con estos 6 grados de velocidad; es constante, que cada una de estas partes tiene una cantidad de movimiento igual á la del cuerpo *b*, pues que tiene la misma masa, y la misma velocidad; y tambien, que estas dos partes, reunidas para formar el cuerpo *a*, tienen una cantidad de movimiento doble del que tiene el cuerpo *b*, por la razon de ser la masa doble. Lo mismo se deduciria si siendo iguales las dos masas, tuviese el cuerpo *a* una velocidad doble de la del cuerpo *b*. Se tiene pues la relacion de las cantidades de movimiento de dos cuerpos, multiplicando la masa de cada uno por su velocidad, ya sean iguales ó no sus masas y sus velocidades. Supongamos, por exemplo, un cuerpo *a* que tiene 4 de masa, y 6 de velocidad, y un cuerpo *b* que tiene 7 de masa, y 5 de velocidad; la cantidad de movimiento del cuerpo *a* es á la del cuerpo *b*, como 24 producto de 4 de masa, multiplicado por 6 de velocidad, es á 35, producto de 7 de masa, multiplicado por 5 de velocidad. En general, *la cantidad de movimiento*

Digitized by Google

de un cuerpo está en razon compuesta de su masa y de su velocidad. [1]

64 Un cuerpo que se mueve, puede mover á otros, y tanto mejor, quanto mayor sea la cantidad de movimiento que tenga; y como esta cantidad de movimiento es relativa á su masa y á su velocidad (63), y crece tanto con la una como con la otra, se puede tambien compensar la una con la otra segun las circunstancias; porque un cuerpo que tiene poca masa, hace tanto esfuerzo con mucha velocidad, como haria otro con ménos velocidad, si tuviese mas masa. Es patente á todos que si se sacude velozmente con un martillo pequeño en un mismo clavo, se introduce este tanto como si se le diese con un martillo grande pero lentamente.

[1] Si expresamos la cantidad de movimiento de un cuerpo, su masa y su velocidad con las mayúsculas Q, M, V, y las de otro cuerpo con las minúsculas q, m, v, tendremos las dos equaciones $Q = M\,V$, y $q = m\,v$, por lo dicho arriba de que la cantidad de movimiento de un cuerpo, es igual á la masa multiplicada por la velocidad; y formando proporcion de las dos equaciones, tendremos $Q : q :: M\,V : m\,v$; es decir, que las cantidades de movimiento de dos cuerpos estan en razon compuesta de las masas y de las velocidades respectivas á cada uno. Multipliquemos extremos y medios en esta proporcion, y tendremos la fórmula general de las cantidades de movimiento $Q\,m\,v = q\,M\,V$.

Si hacemos $M = m$ nos dará la fórmula, la proporcion $Q : q :: V : v$; que quiere decir, que quando las masas de dos cuerpos son iguales, sus cantidades de movimiento son como las velocidades.

Si $V = v$, $Q\,m = q\,M$, y en proporcion $Q : q :: M : m$; esto es, que quando las velocidades son iguales, las cantidades de movimiento son como las masas.

Ultimamente, si suponemos que $Q = q$, $M\,V = m\,v$, y en proporcion $M : m :: v : V$; es decir, que quando son iguales las cantidades de movimiento de dos cuerpos, sus masas estan en razon inversa de sus velocidades; y vice versa. *Nota del Traductor.*

Digitized by Google

Movimiento absoluto.

65 Es el *movimiento absoluto* la mutacion de relaciones de situacion de un cuerpo, respectivamente á todos los cuerpos que estan inmediatos á él, ó que le rodean. Tal es el movimiento de un hombre que va de un lugar á otro; pues que muda continuamente sus relaciones de situacion respectivamente á las diferentes partes del terreno que anda.

Movimiento relativo.

66 El *movimiento relativo* es la mutacion de relaciones de situacion de un cuerpo, relativamente á ciertos cuerpos que le rodean, sea de cerca, sea de léjos, y no relativamente á otros. Un cuerpo puede estar en reposo relativamente á algunos de los cuerpos que le rodean, y en movimiento relativamente á otros cuerpos. Un hombre, por exemplo, inmóvil en un barco que navega, está en reposo relativamente al barco y á lo que contiene; pero está en *movimiento relativo*, con respecto á la costa; y si en lugar de mantenerse en reposo se pasease en la embarcacion, estaria en movimiento relativo respectivamente al barco, y respectivamente á la costa; á causa de que este hombre, por su movimiento propio, mudaria de situacion con las diferentes partes de la embarcacion; y por su movimiento comun con el barco que le lleva, mudaria de situacion con los cuerpos que estan sobre la costa. Sin embargo, si este hombre, en tanto que el barco navega, camina de proa á popa con una velocidad igual á la velocidad con que anda la embarcacion; es decir, si él corre la longitud del barco en el mismo tiempo que este emplea en andar una igual cantidad en direccion

Digitized by Google

contraria; este hombre pues, está en movimiento relativamente al barco, pero no lo está relativamente á la orilla ó costa; por corresponder siempre á un mismo punto; en términos que qualquiera que le mirase desde la orilla, le veria siempre corresponder al mismo punto de la orilla opuesta.

Movimiento simple.

67 *Movimiento simple* es aquel que tiene un cuerpo que se dirige únicamente hácia un solo punto; ya sea que este cuerpo esté impelido ó tirado por una sola potencia, ya que tenga muchas que le impelan ó tiren en la misma direccion. Luego un *movimiento simple* no es mas que el efecto de una sola impulsion, ó de muchas que obran juntas, ó sucesivamente en la misma direccion. Tal es el de un cuerpo grave, que no obedece mas que á su pesantéz; la qual le hace descender por una línea perpendicular al horizonte. Tal es tambien el de un coche tirado por caballos.

Movimiento compuesto.

68 *Movimiento compuesto* es aquel que tiene un cuerpo á quien se hace mover por dos ó mas potencias que obran á un mismo tiempo, y con direcciones diferentes; las que si se prolongan, forman ángulo, ó se cruzan pasando por el móvil. Luego un *movimiento compuesto* no es mas que el efecto de dos ó mas impulsiones que obran á un mismo tiempo, y cuyas direcciones se cruzan. Tal es el de un barco *a*, *e* (*fig.* 5), que sigue la direccion de un canal *a*, *b*; pues que obedeciendo á un mismo tiempo al esfuerzo de las dos potencias *c*, *d*, que, colocadas cada una sobre una de las orillas, tiran al barco, la una por medio de la cuerda *e*, *c*, y la otra por me-

Digitized by Google

dio de la cuerda *e*, *d*, sigue en virtud de estas dos potencias la direccion *e*, *b*.

Volveremos á hablar con mas extension de este movimiento (159); el qual se halla con freqüencia en la naturaleza.

Movimiento rectilíneo.

69 *Movimiento rectilíneo* es aquel que se hace en línea recta; el qual se verifica siempre en los movimientos simples (67); y tambien en los movimientos compuestos, quando las potencias que los producen, perseveran en las mismas relaciones entre sí en todo el tiempo que dura el movimiento; sea que estas potencias no padezcan variacion alguna, sea que las variaciones sean iguales ó proporcionales de una y otra parte (161).

Movimiento curvilíneo.

70 El *movimiento curvilíneo* es aquel que se hace en línea curva. Tales son todos los movimientos compuestos (68), producidos por potencias que, obrando juntas, varian á cada instante de relaciones, sea en quanto á la direccion, sea en quanto á la intensidad ó á la fuerza.

Movimiento reflexo.

71 *Movimiento reflexo* es aquel que recibe un cuerpo quando encuentra un obstáculo impenetrable para él, tal como una pared, una roca, &c. el qual obstáculo le obliga á volver atrás, haciéndole saltar despues del choque. Tal es el movimiento de una pelota, quando despues de haber chocado en la pa-

Digitized by Google

red hácia la qual se arrojó, salta ó rechaza hácia la persona que la tiró.

Movimiento refracto.

72 *Movimiento refracto* es el de un cuerpo que pasa obliqüamente de un intermedio á otro, mas ó ménos resistente que el intermedio de adonde sale; y del que la mayor ó menor resistencia obliga al cuerpo á dexar su primera direccion. Tal es el movimiento de un cuerpo que pasa del ayre al agua, ó del agua al ayre, presentándose obliqüamente al plano que separa los dos intermedios. Se ve en esto, que para que se verifique el *movimiento refracto*, son precisas absolutamente dos cosas, á saber, que el cuerpo mude de intermedio, y la obliqüidad de incidencia sobre el plano que separa los dos intermedios.

Leyes del movimiento.

73 Se llaman *leyes del movimiento*, ciertas reglas segun las quales se mueven los cuerpos quando obran los unos contra los otros.

Hay dos especies de movimiento; el simple (67), y el compuesto (68); de los quales no son mas que especies particulares todos los demas movimientos de que acabamos de hablar. Establecidas que sean las leyes de estos dos movimientos, habremos establecido las de los demas; y no quedará mas que hacer que el añadir algunas particularidades, de las que hablaremos mas adelante.

1.ª *Ley del movimiento simple.*

74 *Todo cuerpo que ha sido puesto en movimiento, debe continuar moviéndose en la direccion, y con*

Digitized by Google

el grado de velocidad que recibió, si su estado no varía por alguna nueva causa.

Si este cuerpo pues, dexa la línea recta que comenzó á describir, ó si su velocidad se acelera ó retarda, seguramente que estas variaciones proceden de una causa particular que le dirige de diferente modo, ó que añade ó quita á su velocidad, sin lo qual no dexaria la primer causa de producir plenamente su efecto; por tener todos los cuerpos una fuerza de inercia (41), por la qual resisten á toda variacion de estado, y cuya resistencia no puede ser destruida sino por una potencia que se le oponga. Luego sin esta potencia la ley tendria su efecto.

75 Pero se puede objetar que esta ley señala á los cuerpos en movimiento una constancia de direccion y de velocidad que no se encuentra jamas, á causa de que todo movimiento disminuye, y de que todo móvil llega á quedar en reposo, pasado un tiempo mas ó ménos largo.

Es verdad que con ningun experimento se prueba lo que expresa esta ley; pero, 1.° todo cuerpo, en qualquier estado que esté, insiste por perseverar en él en virtud de su fuerza de inercia (41), cuyo principio solo, es suficiente para probar que la ley de que se trata, existe en la naturaleza. 2.° Si los cuerpos pierden siempre su movimiento pasado un cierto tiempo, es á causa de que siempre hay obstáculos que se le hagan perder; porque, 1.° en qualquier sitio, ó de qualquiera manera que se haga, moverá á los cuerpos, se hallan estos siempre sumergidos en algun fluido que, con respecto á esto, llamamos *intermedio*; al que precisamente tienen que ir desalojando sin cesar para abrirse paso; y como este intermedio es material, y por conseqüencia impenetrable (11), hace una continua resistencia al mó-

Digitized by Google

vil que se dirige á desalojarle. Luego este móvil no puede continuar moviéndose sin emplear á cada instante una parte de su movimiento para vencer esta resistencia; así, pasado cierto tiempo, habiéndole consumido ya todo, se encuentra reducido al reposo. 2.° Siendo pesados todos los cuerpos (198), ninguno de ellos puede moverse como no esté sostenido por un plano, ó de otro qualquier modo, ó á lo ménos como no se deslice ó mueva en algun fluido que le toca por todas partes. De qualquier modo que procedamos es preciso siempre, que pase el cuerpo por los diferentes puntos de la superficie del plano que corre, ó del fluido que divide; cuya aplicacion sucesiva de superficie en superficie se llama *rozamiento*, y ocasiona una resistencia al movimiento. Estas dos resistencias, la de los intermedios y la que procede de los rozamientos estan como se ve unidas de tal modo al estado natural, que son absolutamente inevitables; de modo, que nuestra primera ley tendria ciertamente su pleno y entero efecto, si estas resistencias cesasen de exîstir. Luego un cuerpo á quien se pusiese en movimiento en el vacío absoluto, si fuese posible, continuaria moviéndose eternamente en este vacío, y correria para siempre espacios iguales en tiempos iguales; pues que ningun obstáculo consumiria allí, ni en todo, ni en parte, la fuerza de este cuerpo.

Como por lo regular nos suele ser ventajoso el conocer la cantidad de movimiento que queda á un cuerpo, deducida la que le han hecho perder las resistencias que nacen de los intermedios y de los rozamientos, manifestaremos lo que se debe considerar quando se quiere valuar estas resistencias.

Digitized by Google

Resistencia de los intermedios ó de los fluidos.

76 La *resistencia de los intermedios* es el obstáculo que oponen los fluidos, al través de los quales se mueven los cuerpos, al movimiento de estos cuerpos (75); por la razon de que siendo materiales estos fluidos ó intermedios, resisten como todos los demas cuerpos, por su inercia (11), á los esfuerzos que se dirigen á desalojarlos; cuya resistencia es proporcional á la masa (24) que debe ser desalojada. Depende el valor de esta masa, 1.° de la densidad del intermedio: 2.° del volúmen de él que es preciso desalojar; luego quanto mas grandes sean esta densidad y este volúmen, mas considerable será la resistencia del intermedio. Pero el volúmen que debe desalojarse se mide por la superficie anterior del cuerpo que se mueve, y por el espacio que este cuerpo corre en un tiempo dado; luego quanto mayores sean la superficie anterior y la velocidad de este cuerpo, tanto mayor será la masa del intermedio desalojada, y por conseqüencia tanto mayor su resistencia.

77 *Newton* dió una regla para valuar esta resistencia, que nos suministra á lo ménos algunas nociones. Demostró pues, que un *cuerpo esférico* que se mueve en un intermedio tranquilo, de una densidad igual á la suya, pierde la mitad de su movimiento corriendo un espacio igual á $\frac{8}{3}$ de su diámetro. El fluido que esta esfera desaloja equivale á un cilindro cuya base tiene por diámetro el de la esfera, y por exe la línea que su centro describe, es decir, $\frac{8}{3}$ del diámetro de la esfera. Ahora, el cilindro es á la esfera del mismo diámetro, como 3

Digitized by Google

es á 2; luego un cilindro cuya base tiene por diámetro el de una esfera, y por altura los $\frac{4}{3}$ de este diámetro (suponiendo iguales las densidades de uno y otro), tiene una masa igual á la de la esfera. Luego en este caso la masa desalojada del fluido es á la masa del cuerpo esférico coma 8 es á 2, ó como 4 es á uno. Y por conseqüencia, qualquiera que sea la densidad del intermedio, como tambien la del cuerpo esférico que se mueve en él, siempre que este cuerpo esférico haya desalojado una masa de este intermedio que iguale quatro veces á la suya, habrá perdido la mitad de su movimiento.

78 Para saber qual espacio debe correr un cuerpo esférico, por exemplo en el agua, para perder la mitad de su movimiento, es preciso conocer la relacion de la densidad de este cuerpo con la del agua. La densidad del oro puro es á la del agua como 192581 es á 10000: la del laton como 83958 á 10000; y la del plomo como 113523 á 10000. De adonde se sigue, que para que una esfera de oro pierda la mitad de su movimiento, debe correr en el agua un espacio igual á 51 veces y $\frac{1}{3}$ su diámetro: la del laton uno igual á 22 veces y $\frac{1}{3}$ su diámetro; y la de plomo un espacio igual á 30 veces y $\frac{1}{4}$ su diámetro [1]. Hemos supuesto que el cuerpo es

[1] Se ha dicho arriba (77) que un cuerpo esférico que se mueve en un intermedio tranquilo, de densidad igual á la suya, pierde la mitad de su movimiento al haber corrido un espacio igual á los $\frac{8}{3}$ de su diámetro. Las tres esferas de oro, laton y plomo, que pone aquí por exemplo el autor, tienen una densidad mayor que la del intermedio por donde se mueven, que es el agua; luego los espacios que corran han de ser proporcionales con sus densidades; es decir, que quanto mayor sea la densidad, tanto mayor será el espacio. Ahora pues, la densidad del oro puro es mayor que la del agua en la cantidad de 19,2581; la del laton en la de 8,3958, y la del plomo en

Digitized by Google

esférico; pero si suponemos que tenga otra figura, sufrirá una resistencia diferente; por manera, que para perder la mitad de su movimiento le será preciso correr un espacio mas ó ménos grande, segun la figura que tenga, ó segun la de la superficie que vaya en la parte anterior, durante el movimiento.

Santiago Bernoulle ha demostrado los teoremas siguientes.

79 Si un triángulo isosceles se mueve en un fluido siguiendo la direccion de una línea perpendicular á su base, primero por su punta ó vértice, y despues por su base, la resistencia en el primer caso será á la resistencia en el segundo, como el quadrado de la mitad de la base es al quadrado de uno de sus lados. En donde se ve que quanto mas agudo sea el ángulo del vértice del triángulo, ménos grande será la resistencia.

la de 11,3523; luego si los espacios que corran estas esferas deben estar en razon de sus densidades, y por otra parte sabemos que un cuerpo esférico, de densidad igual al intermedio por donde se mueve, corre los $\frac{8}{3}$ de su diámetro, es constante que la esfera de oro deberá correr estos $\frac{8}{3}$ tantas veces mas, quantas sea mayor su densidad que la del agua; por lo que tendremos que multiplicar $\frac{8}{3}$ por 19,2581, diferencia de densidad entre el oro y el agua, cuyo producto es 51,3549; veces que la esfera de oro deberá correr la longitud de su diámetro para perder la mitad de su movimiento. Lo mismo deberemos hacer con las esferas de laton y de plomo; esto es, multiplicar los $\frac{8}{3}$ por sus diferencias respectivas de densidad, con respecto al agua; y tendremos que el espacio que correrá la esfera de laton será igual á tantas veces su diámetro como $\frac{8}{3} \times 8,3958 = 22,3888$; y el que correrá la de plomo será igual á tantas veces su diámetro como $\frac{8}{3} \times 11,3523 = 30,2728$. *Nota del Traductor.*

Digitized by Google

80 La resistencia de un quadrado movido segun la direccion de su lado, es á la resistencia de este mismo quadrado movido segun la direccion de su diagonal, como el lado es á la mitad de la diagonal.

81 La resistencia de un semicírculo que se mueve por su base, es á la resistencia quando se mueve por su vértice, como 3 es á 2. (La experiencia hace ver, que es como 3 á ménos de 2).

Estas reglas pueden ser útiles hasta cierto punto, en la construccion de las embarcaciones.

82 Hemos dicho mas arriba (76), que la resistencia de los intermedios depende de la cantidad de ellos que se desaloja en un tiempo dado, y que esta cantidad se mide por la superficie anterior del cuerpo que se mueve, y por el espacio que corre durante este tiempo. Luego quanto mayor sea esta superficie, mas considerable será la resistencia; y esta es la causa de que un navio que lleva todas sus velas tendidas, ofrezca mayor resistencia al viento. De aquí se sigue que un mismo cuerpo, corriendo espacios iguales en un mismo tiempo, puede padecer en el mismo intermedio resistencias mas ó ménos grandes, segun el modo con que se presente al choque del intermedio. Es patente que mayor resistencia se siente en el agua, al mover la mano por la parte plana, que por el canto. Este es el motivo que tienen los marineros para mover el remo por su parte plana, quando buscan un punto de apoyo en la resistencia del agua; pero para levantarle lo hacen por su canto, á fin de que les cueste ménos trabajo. Por la misma razon sufre menor resistencia por su corte que por su plano, una regla que se mueve en el ayre. Esta misma causa hay para que un cuerpo entero, conserve mejor su movimiento que si estuviese dividido.

Digitized by Google

83 Crece tambien esta resistencia de los intermedios, á medida que aumenta la velocidad del móvil; pero no crece simplemente como la velocidad, *sino* poco mas ó ménos como el quadrado de la velocidad: de modo, que si se supone dos cuerpos iguales *a* y *b*, que se mueven los dos en un mismo intermedio, y que *a* se mueve con una velocidad tripla de la de *b*, *a* sufrirá una resistencia nueve veces tan grande como la de *b*; porque quando cuerpos semejantes se mueven al través de un mismo fluido con velocidades diferentes, crece esta resistencia en razon del número de partículas heridas en un tiempo igual; cuyo número es como el espacio corrido en el mismo tiempo, es decir, como la velocidad: crece además en razon de la fuerza con que choca el cuerpo contra cada parte, y esta fuerza es como la velocidad del cuerpo. Por conseqüencia, si la velocidad es tripla, la resistencia es tripla, á causa del número triplo de partes que debe apartar el cuerpo; y tambien es tripla por motivo del choque tres veces tan fuerte, con que choca á cada partícula; siendo esta la razon de que la resistencia total sea nueve veces mas grande que la parcial, es decir, como el quadrado de la velocidad. Así, un cuerpo que se mueve en un fluido, retarda su movimiento, parte en razon simple de su velocidad, y parte en razon dupla de esta misma velocidad; y quando esta velocidad crece á un cierto punto, hiere el cuerpo al fluido con mas prontitud que con la que él puede ceder, y sirve este fluido de punto de apoyo. ¿Por qué, por exemplo, hace caminar á un barco la accion de remar? ¿y por qué esta accion le hace caminar con tanta mas velocidad, quanto mas pronta es y mas freqüente? No es otro el motivo sino el de que quando se hiere al agua mas apriesa de lo que ella puede ceder, llega á ser, por

Digitized by Google

esta lentitud en obedecer, el punto de apoyo del remo. Los peces con sus nadaderas y sus colas, y los nadadores con sus brazos y piernas, hacen lo que el marinero con los remos.

84 De ser el ayre material, se sigue que es un intermedio resistente como los demas, con la diferencia de que siendo ménos denso resiste ménos; luego para que sirva de punto de apoyo, es preciso herirle, ó mas apriesa, ó con un volúmen mas grande. Así, las aves que vuelan mucho tiempo, y á gran distancia, como las golondrinas, las aves de rapiña, muchas aves aquáticas, &c. tienen poco cuerpo, mucha pluma, y las alas muy grandes, á fin de poder herir un volúmen mayor de ayre, y no necesitar de una velocidad grande, que las cansaria mucho. Al contrario, las aves que tienen un vuelo mas corto y ménos freqüente, tienen mas carne, y las alas mas pequeñas á proporcion; por cuya razon se ven precisadas á herir el ayre con mas velocidad; lo qual las cansa, y las impide el ir léjos. Compárese ahora el peso de un hombre, con la fuerza que le seria preciso tener en los músculos de los brazos para mover unas alas de magnitud proporcionada á su masa, y con una velocidad capaz de sostenerle en el ayre, y se verá la locura de los que han buscado los medios para volar. Y no se diga que los globos aërostáticos nos han probado ser posibles estos medios, pues no es todo uno, ni con mucho; por la razon de que si un bombre está sostenido en el ayre, con el auxîlio de un globo, que es un cuerpo mas ligero que igual volúmen del fluido en que está sumergido, lo está sin tener precision de emplear fuerza alguna.

85 La resistencia que procede de la coherencia de las partes en los fluidos, excepto aquellos que son glutinosos, no es quasi sensible en comparacion

Digitized by Google

de la otra resistencia, que está en razon de los quadrados de las velocidades. Así, quanto mas grande es la velocidad, tanto mayor es la diferencia que hay entre las dos resistencias; á causa de que, en los movimientos rápidos, no se necesita considerar mas que la resistencia, que es como el quadrado de la velocidad.

86 Si el intermedio está agitado, su resistencia se aumentará ó disminuirá por su movimiento propio; se aumentará si el intermedio se mueve en direccion contraria á la del móvil, y se disminuirá ó quedará nula, si el móvil y el intermedio se mueven en una misma direccion. Un pez, por exemplo, que sube la corriente de un rio, ó un hombre que camina contra el viento, tiene cada uno dos resistencias que vencer; la una es la inercia del volúmen del intermedio que es preciso desalojar, como lo harian en un fluido tranquilo; y la otra el movimiento adquirido del fluido, cuya direccion es contraria á la de ellos. Esta es la razon que hay para disminuir, tanto como es posible, el volúmen de un cuerpo, quando se le hace mover contra la direccion de un fluido cuyo movimiento es rápido; consiguiendo por este medio aminorar la superficie de él, para que tenga ménos en que cebarse el esfuerzo de la corriente. La misma causa asiste, quando en un navio que tiene el viento contrario, se recogen sus velas; y quando en un molino de viento se recogen en parte los lienzos de sus alas, si el viento es demasiado fuerte.

87 Si el móvil y el fluido que le sirve de intermedio tienen la misma direccion, ó tienen velocidades iguales, ó el uno de los dos tiene mas velocidad que el otro. En el primer caso, la resistencia del intermedio es nula: tal es un pez que sigue exâctamente la corriente del agua, ó un globo que ca-

Digitized by Google

mina á la voluntad del ayre; pues que ni el uno ni el otro prueban resistencia alguna de la parte del intermedio. En el segundo caso, aquel de los dos, el intermedio y el móvil, que tiene mas velocidad, comunica parte al otro á costa de la que él tiene. Una bala, por exemplo, disparada en la direccion del viento, no encuentra tanta resistencia en el ayre como encontraria en un tiempo quieto y sosegado; y su velocidad es ménos retardada: pero como camina mas apriesa que el viento, necesita siempre abrirse un paso en este intermedio que huye delante de ella con demasiada lentitud; sufriendo por conseqüencia una resistencia, pero menor que si el ayre estuviese tranquilo. Al contrario, un hombre que camina en la direccion del viento, no solamente no sufre resistencia de la parte del ayre, sino que es ayudado en su marcha por el viento; el qual tiene mas velocidad que él.

88 Lo mas interesante para nosotros, relativamente á la resistencia de los fluidos, seria, sobre todo, el conocer exâctamente la resistencia del agua con respecto á los cuerpos que flotan encima de ella, tal como una lancha, un navio, &c. cuya resistencia depende, 1.° de la densidad del fluido; 2.° del volúmen de este fluido, que debe desalojarse en un tiempo dado; 3.° de la velocidad del móvil; 4.° de la figura del móvil; y 5.° de la anchura y de la profundidad del canal.

89 1.° Depende esta resistencia de la densidad del fluido, pues quanto mayor sea esta densidad, mas grande es la resistencia: el agua del mar, que tiene mas densidad que la de rio, resiste mas.

90 2.° Depende del volúmen de fluido que debe ser desalojado en un tiempo dado; cuyo volúmen desalojado depende de la superficie anterior del móvil y del espacio corrido (76). Si el choque del fluido sobre

Digitized by Google

la superficie anterior del móvil es perpendicular á su direccion, la resistencia es sensiblemente proporcional á la extension de la superficie. Aumenta tambien esta resistencia, con respecto á los cuerpos que flotan, en una razon un poco mas grande que en la que aumenta la extension de latitud en la superficie; es decir, que si se dobla la anchura de un barco, es un poco mas que doble la resistencia; á causa de que quanto mas ancha sea esta superficie, mas trabaja el fluido para volverse y ponerse á nivel; lo que se prueba con el remolino del agua, que es entónces mas considerable.

Pero no aumenta tanto esta resistencia como lo que aumenta la extension en profundidad de la superficie; es decir, que si se hace dupla la profundidad de un barco, sin aumentar su anchura, la resistencia es un poco ménos que doble, por ser menor entónces el remolino que se hace en la superficie del fluido. En general, se puede suponer en la práctica, sin temor de error sensible, que *la resistencia perpendicular y directa de una superficie plana, que se mueve paralelamente á ella misma en un fluido indefinido, es igual al peso de una columna del mismo fluido, que tenga por base la superficie chocada, y por altura la que pertenece á la velocidad con que se hace la percusion.*

Pero si dos planos diferentes se mueven paralelamente á ellos mismos, en un mismo fluido, y con velocidades diferentes, *las resistencias del fluido serán entre sí como los productos de estos planos por los quadrados de sus velocidades.*

Si los fluidos en que estos dos planos se mueven no son de la misma especie, deberá entrar en el cálculo la razon de sus densidades; en cuyo caso *estarán las resistencias en razon compuesta de los planos, de las densidades de los fluidos, y de los quadrados de las velocidades de estos planos.* Siempre se

Digitized by Google

debe hacer de este modo el cálculo, quando se trata de comparar la resistencia de un fluido con la de otro fluido de densidad diferente. Por exemplo, suponiendo planos de una misma extension, y moviéndose con la misma velocidad en los dos fluidos agua y ayre, diremos que se mueven en la relacion de las densidades de estos dos fluidos, es decir, que sus movimientos serán como 810,6 es á 1, razon, con corta diferencia, de la resistencia del agua á la del ayre.

Si los dos fluidos estan en movimiento, sea en una misma direccion, sea en direccion contraria al movimiento de los planos, *estarán entre sí las resistencias como los productos de los planos por los quadrados de las diferencias, ó de las sumas de las velocidades de los fluidos y de los planos.*

91 La regla establecida en el choque obliqüo es que *las resistencias estan en razon del quadrado del seno del ángulo de incidencia del fluido sobre el plano.* Pero esta teoría se aleja mucho de la práctica, quando los ángulos son muy pequeños; y la experiencia prueba que la resistencia es mucho mas grande que la que da la teoría. Así, no puede determinar exâctamente esta teoría las resistencias que provienen de los choques obliqüos, aun quando se introduxese, en lugar del quadrado, otra qualquier potencia del seno del ángulo de incidencia. La funcion general del tiempo, del espacio, de la superficie, y del seno del ángulo de incidencia, que deberia ser propia para representar la resistencia en todos los casos, es un objeto de indagacion muy dificil, y muy digno de la atencion de los geómetras. No puede emplearse tampoco esta teoría para hallar el sólido de la menor resistencia; lo qual seria una gran ventaja para la construccion de las embarcaciones, pues que se les podria dar la mayor ligereza posible.

Si se quiere comparar la resistencia del choque

ns Digitized by Google

perpendicular con la del choque obliqüo en el mismo fluido, supondremos que el fluido *x* hiere perpendicularmente al plano *a* que está en reposo, y que el fluido *y* hiere obliqüamente al plano *b*, tambien en reposo; y será, en este caso, la resistencia contra el plano *a* á la resistencia contra el plano *b*, como el producto del plano *a* por el quadrado de la velocidad del fluido *x*, y por el quadrado del seno total, es al producto del plano *b* por el quadrado de la velocidad del fluido *y*, y por el quadrado del seno del ángulo de incidencia del fluido *y*, sobre el plano *b*.

92 Con respecto á la tenacidad del agua y de la coherencia de sus partes, como tambien del rozamiento que ella causa, se debe mirar esta fuerza como infinitamente pequeña con relacion á la resistencia que procede de la inercia (85). No podrian llegar á hacerse sensibles esta tenacidad y este rozamiento sino en el caso extraordinario en que la embarcacion tuviese una longitud excesiva relativamente á su anchura.

93 3.° La resistencia de los fluidos depende de la velocidad del móvil. Esta resistencia sigue poco mas ó ménos la razon del quadrado de las velocidades (83); bien que mirado con rigor, aumenta en una razon mayor que el quadrado de la velocidad, á causa de que el fluido no huye bastante apriesa delante del móvil; lo que prueba el remolino: pero la diferencia no es grande.

94 4.° La figura de la embarcacion contribuye mucho á la resistencia del fluido sobre quien flota; procediendo la mas fuerte resistencia del choque directo y perpendicular (90); pues el choque obliqüo la disminuye (91), y tanto mas, quanto el ángulo de la proa es mas agudo; porque quanto mas agudo es este ángulo, mas pequeño es el seno del án-

Digitized by Google

gulo de incidencia del fluido. Pero este ángulo muy agudo es incómodo, por dar mucha longitud á la embarcacion, y proporcionar poco espacio en lo interior de ella.

95 5.° La resistencia del fluido depende de la anchura y de la profundidad del canal. Quanto mas estrechos y poco profundos son los canales, tanto mayor es la resistencia; á causa de que impelido el fluido por la embarcacion, tiene tanta ménos libertad para pasar de la parte anterior á la posterior; en cuyo caso puede llegar hasta muy léjos la diferencia, pudiendo la resistencia ser doble y aun triplicada. Es pues esencial el dar á los canales de navegacion la mayor anchura y profundidad que sea posible, teniendo cuidado al mismo tiempo de no meterse en gastos que hayan de ser superfluos.

Se debe evitar tambien, á ménos que no precisen á ello las circunstancias locales, el construir canales subterráneos; porque para darles las dimensiones necesarias se consumiria sumas enormes, ya en la extraccion de la tierra, ya en la construccion de las bóvedas que son quasi siempre indispensables.

Resistencia de los rozamientos ó fricciones.

96 Se llama rozamiento ó friccion al tránsito de la superficie de un cuerpo sobre la superficie de otro cuerpo. Luego siempre que dos superficies se deslizan ó escurren la una sobre la otra, se verifica un rozamiento, que opone una resistencia; á causa de que estas superficies, por tersas que nos parezcan, no lo estan jamas perfectamente, sino siempre llenas de eminencias y cavidades mas ó ménos pequeñas. No se debe exceptuar de esto ni aun la superficie de un diamante por tersa que esté; porque como se la ha pulimentado con algunos polvos que la

Digitized by Google

han arañado, estos araños ó rayas, aunque son á la verdad de tal modo sútiles y pequeños, que nuestros ojos no los pueden distinguir, no dexan de oponer alguna resistencia. Quando dos superficies se tocan, entran las eminencias de la una en las cavidades de la otra; y para hacerles deslizar la una sobre la otra, se necesita, ó arrancar las eminencias, ó levantar el cuerpo para que salgan de las cavidades, y por conseqüencia vencer el peso de este cuerpo. Se ve pues, que es precisa una fuerza real, ó para vencer el peso del cuerpo, ó para arrancar de él las eminencias; siendo lo que resiste á esta fuerza á lo que se da el nombre de *rozamiento* ó *friccion.* Luego el rozamiento es una resistencia real que se opone al movimiento de los cuerpos.

97 La superficie de un cuerpo puede correr la superficie de otro cuerpo de dos modos, esto es, ó simplemente deslizándose, ó rodando. En el primer caso, se verifica la aplicacion sucesiva de las mismas partes de una superficie á diferentes partes de la otra, como quando se hace deslizar un plano qualquiera sobre una mesa; y en el segundo caso, se verifica la aplicacion sucesiva de diferentes partes de una superficie á diferentes partes de otra, como quando se hace rodar una bola ó una rueda sobre un plano. De aquí es el distinguirse dos especies de rozamientos: quando un cuerpo se desliza sobre otro, el rozamiento se llama de primera especie; y quando el uno rueda sobre el otro, el rozamiento se llama de segunda especie. Estas dos especies de rozamientos oponen una resistencia, y disminuyen el movimiento de los cuerpos; pero la resistencia del rozamiento de segunda especie es menor que la resistencia del otro, y produce ménos efecto; á causa de que para vencer la resistencia del rozamiento de primera especie se necesita, ó levantar el cuerpo que

Digitized by Google

se desliza, ó romper las partes de él introducidas en el otro cuerpo; en lugar de que, en el rozamiento de segunda especie, las partes introducidas del cuerpo que rueda se salen, y se desencajan poco mas ó ménos, como lo hacen los dientes de dos ruedas que giran la una sobre la otra. Esta es la razon por que los carruageros atan una de las ruedas del carruage quando tienen que baxar una cuesta rápida; consiguiendo así el disminuir la velocidad, y evitar el que se precipite el carruage, en virtud de haber mudado, con la operacion de atar la rueda, el rozamiento de segunda especie en rozamiento de primera, que resiste mas.

98 Las dificultades que se encuentran para valuar la resistencia de los rozamientos ó fricciones son aun en mayor número que las que hay para valuar la de los intermedios. El paso de una superficie sobre otra causa una resistencia tanto mas grande, y este paso es tanto mas retardado, quanto estas superficies tienen mas desigualdades; pero este mas ó ménos de desigualdades varía al infinito, y es muy dificil de conocer. Las demas qualidades, á saber: la magnitud de las superficies que se frotan, la fuerza que oprime á estas superficies una sobre otra, y la velocidad con que se mueven, son mas fáciles de valuar; pero como su valor es relativo al estado actual de las superficies que se frotan, y este estado es poco conocido, siempre queda alguna incertitud; por lo que, es preciso las mas veces contentarse con una valuacion aproximada. Lo que se suele hacer con mas freqüencia, quando se trata de máquinas grandes, es suponer que se consume un tercio de la fuerza empleada para vencer la resistencia de las fricciones, y aun algunas veces no es suficiente este tercio.

99 *Amontons* (*Memorias de la Academia de las*

Digitized by Google

Ciencias, año de 1699, pág. 206.) creyó que para valuar las fricciones no se debia hacer aprecio de la magnitud de las superficies que se frotan, sino solamente de la fuerza que oprime estas superficies unas contra otras; cuya fuerza no es por lo regular otra cosa mas que el peso de los cuerpos, que es preciso levantar para que se deslicen; y que por conseqüencia, quando un pedazo de madera, por exemplo, tiene mas grueso por una parte que por otra, es indiferente el arrastrarle sobre la superficie grande ó pequeña; siendo igual en los dos casos la resistencia de los rozamientos, á causa de que el peso del pedazo de madera queda siempre el mismo, y de que su carga está distribuida entre todas las partes de la superficie que frota; de modo que si esta superficie es la mas grande, hay á la verdad mas partes de ella introducidas en la otra superficie; pero estan ménos introducidas estas partes, que lo estarian siendo en menor número, y estando mas cargadas. Sostuvo y apoyó *Amontons* su opinion con experimentos ingeniosos, y con especiosos razonamientos. Sin embargo, prueba tambien la experiencia que hay casos en que es preciso tener en consideracion la magnitud de las superficies, aunque el incremento de las superficies que se frotan aumente mucho ménos la resistencia de las fricciones que el incremento de las presiones. Y en efecto, la primera causa de los rozamientos es la desigualdad de las superficies (96), y aumentando la magnitud de estas, se hace crecer el número de las desigualdades; por cuya razon, si se aumenta la causa, debe tambien aumentar el efecto.

100 Además de la presion y de la magnitud de las superficies, se debe tambien hacer entrar la velocidad en la valuacion de los rozamientos; porque si se aumenta la velocidad, es evidente que andando mas camino en un determinado tiempo la super-

Digitized by Google

ficie que frota, sus eminencias, durante este tiempo, se doblarán, romperán, ó se saldrán en mayor número; y por conseqüencia irá levantándose el cuerpo mas á menudo, lo qual aumenta la resistencia. Sin embargo, es cierto que este aumento de resistencia, que procede de la velocidad con la qual se hace frotar las superficies, tiene sus límites, pasados los quales se puede acelerar la velocidad, sin que los rozamientos lleguen á ser mas considerables; por manera, que se puede decir en algun modo que, aumentando la causa, no se aumenta el efecto; lo que necesita de explicacion. Supongamos que *d e* y *f g* (*fig.* 6) representan dos superficies de cuerpos duros, de los que las desigualdades quasi insensibles (aunque representadas en grande en la figura) estan encaxadas las unas en las otras, y que la presion qué las une obra en la direccion *a b*, perpendicular á la que tienen los dos cuerpos quando se desliza el uno sobre el otro. Es claro que el cuerpo *d e* no puede moverse siguiendo la direccion *b c*, á ménos que sus partes salientes *b*, *i*, *l*, *m*, no salgan de las concavidades en que estan metidas, lo que no puede verificarse en tanto que el cuerpo entero *d e* no se eleve contra el esfuerzo de la presion. Si esta presion hace caer á estas partes salientes en las concavidades inmediatas, de modo que *b*, saliendo de 1, caiga en 2, despues en 3, &c. es claro que el esfuerzo que será necesario hacer para levantar el cuerpo *d e*, se repetirá tantas veces como eminencias y concavidades haya; y quanto mas ande el cuerpo *d e* en un tiempo dado, mas freqüente tendrá que ser en él la accion de levantar y caer. Pero si la velocidad es bastante grande para que las eminencias, una vez fuera de las concavidades, pasen muchas de ellas sin caer en estas; por exemplo, que la eminencia *b*, fuera ya de la concavidad 1, en lugar de caer en 2,

Digitized by Google

pase hasta 3 ó 4, se concibe fácilmente que el cuerpo que frota *d e*, podrá correr dos ó tres veces tanta superficie sobre *f g*, sin que sus eminencias caigan con mas freqüencia en las concavidades; en cuyo caso no aumentará la resistencia de las fricciones, aunque la velocidad haya aumentado.

Hemos dicho (98) que era muy difícil el valuar con exâctitud la resistencia de los rozamientos. Veamos á lo ménos lo que prueba de cierto la experiencia relativamente á esta resistencia.

101 1.° *El rozamiento de la primera especie causa una resistencia mucho mas grande que la que causa el rozamiento de la segunda especie* (97); para asegurarse de esto, hágase el experimento siguiente.

Experimento. Póngase sobre un plano un pedazo de mármol, pulimentado ó no, que pese dos ó tres arrobas; pruébese á impelerle con la mano, y se encontrará una resistencia muy grande. El rozamiento es aquí de la primera especie (97). Métanse en seguida, entre el plano y el pedazo de mármol dos cilindros ó rodillos de madera, y quedará reducido el rozamiento de la primera especie al de la segunda (97), con lo qual se podrá hacer mover al pedazo de mármol con un esfuerzo muy leve. Luego, &c. Por este medio se hace caminar sobre el terreno piedras enormes, que no se podria mover sin este auxílio, á ménos que no fuese con mucha dificultad.

Las dos especies de rozamientos se dirigen á destruir el movimiento de los cuerpos, pero el de la primera tiene efectos mucho mas considerables que el de la segunda. Estos efectos del rozamiento se encuentran por todas partes: no es otra la causa de la alteracion y deterioro de nuestros vestidos, muebles, &c. Las herraduras de las caballerías, y las

Digitized by Google

llantas de las ruedas de los carruages, se gastan y destruyen con el rozamiento que sufren sobre las piedras; y esto es lo que suministra la gran porcion de hierro que se mezcla, y ennegrece el barro de las grandes poblaciones, en donde hay muchas caballerías y carruages.

102 Si los rozamientos nos son freqüentemente dañosos, algunas veces suelen ser útiles: en las artes se saca ventaja de ellos: una lima v. g. no obra mas que en virtud de su rozamiento aumentado con la presion; pues que este instrumento no es otra cosa mas que una superficie llena de asperezas que se introducen entre las partes de la pieza que se trabaja, y que las arrancan. Lo mismo se puede decir de toda clase de piedras de amolar.

103 Quando la resistencia de los rozamientos es demasiado grande, se la disminuye mucho untando las superficies frotantes con alguna materia grasienta: como quando se pone sebo entre el exe y el cubo de una rueda; operacion que produce dos efectos que contribuyen á la disminucion de la resistencia del rozamiento; 1.° esta materia grasienta llena en parte los huecos ó poros, por cuyo medio se hacen menores las desigualdades de las superficies; 2.° el exceso que queda de esta materia grasienta, y que no se coloca en los poros, hace el equivalente de los rodillos de que hemos hablado mas arriba (101), y muda el rozamiento de la primera especie en el de la segunda.

104 2.° *La resistencia de los rozamientos aumenta con el aumento de las superficies frotantes*, como lo prueba el experimento siguiente.

Experimento. Póngase sobre una mesa un pedazo de madera que tenga mas de ancho que de grueso, por exemplo, un pie de ancho, y medio de grueso; y en uno de sus extremos esté clavada una

Digitized by Google

argolla: átese á esta una cuerda, que se hará pasar por una polea fixa en la orilla de la mesa, y al extremo de esta cuerda colóquese un platillo de balanza; échese en él tantas pesas como sea preciso para hacer mover y caminar al pedazo de madera frotante, 1.° sobre su superficie mayor, 2.° sobre la pequeña; y se verá que se necesitan mas pesas en el primer caso que en el segundo. Luego, &c.

En efecto, las desigualdades de las superficies son la primer causa de los rozamientos (96): aumentando la extension de las superficies frotantes, se hace crecer el número de estas desigualdades; luego si se aumenta la causa, debe tambien aumentar el efecto. Pero este efecto no aumenta tanto como la extension de la superficie, siendo cierto que una superficie doble no causa una resistencia doble. Sucede tambien algunas veces no ser sensible el aumento de este efecto, como en ciertas máquinas pequeñas bien trabajadas; pero no es lo mismo en las máquinas grandes, en donde por lo regular no estan las piezas mas que desbastadas.

105 El aumento de resistencia con respecto á las superficies frotantes, se verifica tambien con los fluidos; cuya velocidad es tanto mas retardada, quanto las superficies frotantes tienen mas extension. Manifiesta la experiencia, que los surtidores de agua (que no se elevan mas que en virtud de la velocidad adquirida al descender) suben á una altura tanto menor, quanto los tubos ó caños son mas pequeños; á causa de ser entónces la superficie frotante proporcionalmente mas grande; porque la superficie de un caño grueso, aunque mas grande que la de uno pequeño, es no obstante menor relativamente á su capacidad. Supongamos dos tubos cilíndricos, de los quales el uno tenga un pie de diámetro, y el otro medio solamente: está demostrado que la superficie

Digitized by Google

del mayor no es mas que dupla de la del menor, en tanto que su capacidad es quadrupla; de modo, que serian precisos quatro tubos de á medio pie para contener toda el agua que contiene el tubo mayor, siendo así que la suma de las superficies de los quatro tubos pequeños, no es mas que doble de la superficie del mayor. Luego quanto mas estrechos son los tubos, mas grandes son las superficies frotantes, relativamente al volúmen de agua que pasa por ellos. Esta misma es la causa de que los rios corran mas lentamente quando el agua está baxa; pues que entónces son mas grandes las superficies frotantes relativamente al volúmen de agua. Supongamos que *a e f b* (*fig.* 7) sea el corte ó seccion de un rio, y que no tenga mas agua que hasta la altura *c d*, serán las superficies frotantes el fondo *e f*, y los dos lados *c e* y *d f*: hagamos dupla ahora la cantidad del agua suponiéndola á la altura *a b*; y se verá que las superficies frotantes no se han aumentado mas que en los dos lados *a c* y *b d*; y que las superficies laterales frotantes son dobles, pero no el fondo que se queda en el mismo estado que tenia ántes.

106 3.° *Aumenta la resistencia de los rozamientos siempre que aumenta la presion.*

Experimento. Tómese el aparato del experimento anterior á este (104); y despues de haber probado qual es el peso necesario para hacer caminar el pedazo de madera, frotando sobre qualquiera de sus superficies, cárguesele con un peso igual al suyo, con lo qual se habrá duplicado la presion del pedazo de madera sobre la mesa, y para hacerle caminar en este segundo caso, será necesario un peso mucho mas considerable que en el primero. Luego, &c. La razon de esto es que las eminencias de una superficie se introducen en las cavidades de la

Digitized by Google

otra tanto mas profundamente, quanto la presion es mas grande; y por lo mismo resisten mas á la fuerza que se dirige á hacerlas salir.

107 4.° *La resistencia de los rozamientos aumenta mucho mas, á proporciones iguales, con el aumento de la presion, que con el aumento de las superficies frotantes*; es decir, que crece mucho mas esta resistencia duplicando ó triplicando la presion, que duplicando ó triplicando la extension de las superficies frotantes.

Está esto probado con lo que hemos visto (104), que una superficie doble no opone mas que una resistencia muy poco superior á la que opone una superficie simple; y que una presion doble produce una resistencia mucho mas considerable (106). Luego, &c.

108 He aquí todo lo que la experiencia nos enseña, relativamente á la resistencia de las fricciones ó rozamientos. Es pues muy dificil, como lo hemos dicho ya (98), y tal vez imposible, el determinar con exâctitud su valor; por depender este siempre del estado actual de las superficies frotantes, el qual no se conoce nunca bastante bien: sin embargo, se acercará bastante el cálculo á la verdad, si se considera la resistencia de las fricciones de la primera especie como igual á un tercio de la presion.

109 Pero si fuere preciso conocer exâctamente el valor de la resistencia del rozamiento de dos piezas determinadas, se le podrá conocer al justo del modo siguiente. Mas adelante haremos ver (543), que la fuerza necesaria para sostener un cuerpo sobre un plano inclinado, que esté perfectamente pulimentado, y que no cause rozamiento alguno, es al peso de este cuerpo, como la altura del plano es á su longitud. Ahora bien, del uno de estos dos cuerpos de quienes se quiere conocer el valor del rozamiento,

Digitized by Google

hágase un plano inclinado; colóquese el otro cuerpo encima, y désele á este plano una inclinacion tal, que esten precisamente en equilíbrio el rozamiento del plano y el peso del cuerpo que está encima de él. En el caso presente, la resistencia del rozamiento de estos dos cuerpos será al peso del cuerpo colocado sobre el plano, como la altura de este es á su longitud. Tenga, por exemplo, el plano diez varas de longitud, y quatro de altura, será igual la resistencia del rozamiento á quatro décimas partes del peso del cuerpo [1].

110 De todo lo que acabamos de decir de la resistencia de los intermedios, y de la de los rozamientos ó fricciones, se debe concluir, que en el estado natural de las cosas, no puede haber movimiento ninguno mecánico inalterable; pues que estas dos resistencias, que son inevitables, son unas causas que exîgen en cada instante, que los cuerpos empleen una parte de su movimiento para vencerlas; y como por grande que sea la cantidad de movimiento que se les haya dado, debe, por esta razon, ir disminuyendo siempre, se sigue que llegará el momento en que no quede á los cuerpos movimiento alguno. Está pues demostrado ser imposible el movimiento continuo mecánico; y los que se obstinan en buscarle multiplicando los gastos con esta mira, pierden el tiempo, el traba-

[1] Si llamamos r á la resistencia del rozamiento de los dos cuerpos, p al peso del cuerpo que se ha de colocar sobre el que sirva de plano, a á la altura de este, y l á su longitud, tendremos la proporcion $r : p :: a : l$, y $r = \frac{pa}{l}$; y si hacemos $p = 15$, $a = 4$, y $l = 10$, hallaremos que $r = \frac{15 \cdot 4}{10} = 6$. Método bastante sencillo para valuar el rozamiento de dos cuerpos, quando se tiene los datos indicados. *Nota del Traductor.*

Digitized by Google

jo y el dinero, y prueban completamente su necedad.

2ª *Ley del movimiento simple.*

111 *Las variaciones que padece el movimiento de un cuerpo, son siempre proporcionales á la causa que las produce.*

Quando obra una fuerza, no puede producir mas efecto que aquel de que es capaz; y le produce siempre, á ménos que alguna otra fuerza no se oponga á ello: luego el efecto será siempre proporcional á la causa. Es tan óbvio todo esto, que será superfluo nos detengamos en una explicacion mas amplia.

3ª *Ley del movimiento simple.*

112 *La reaccion es siempre igual á la accion ó á la compresion.*

Quando un cuerpo en movimiento, ó que va á moverse, obra sobre otro cuerpo, le comprime; y este último exerce recíprocamente sobre el primero una compresion igual. Por exemplo, si se apoya la mano sobre un platillo vacío de una balanza, y se aprieta hasta hacer subir el peso de una arroba, que se supone haber en el otro platillo, la mano se halla tan comprimida como si se le sobrecargase la referida arroba de peso: luego la reaccion de esta arroba de peso contra la mano es igual á la accion de la mano.

Pero, se dirá, si la reaccion fuese siempre igual á la accion, jamas podria un cuerpo mover á otro; pues que se destruirian mútuamente estas dos acciones iguales y contrarias, que es el fundamento del equilibrio. Porque ¿cómo podrá un cuerpo hacer caminar á otro, si este segundo impele al primero, en direccion contraria, con una fuerza igual á la que

Digitized by Google

el primero emplea en impelerle á él mismo? Se debe responder á esto, que quando un cuerpo impele á otro y le hace caminar, el primero no emplea mas que una parte de su fuerza en vencer la resistencia que le opone el segundo, y que despues de haber vencido esta resistencia, le queda aun parte de su fuerza que puede emplear en hacer caminar al cuerpo. Quando en el exemplo de arriba se sostiene con la mano la arroba de peso, la mano no emplea para ello mas que un esfuerzo de una arroba; y si se quiere levantar aquel peso se emplea la fuerza que queda. Así, aunque las fuerzas sean desiguales, la accion y la reaccion son siempre iguales. La razon de esta igualdad de la accion y de la reaccion, en todos los casos, está en que no podria un cuerpo emplear un grado de fuerza en vencer la resistencia de otro cuerpo, sin perder él mismo una cantidad igual á la que empleó para ello.

CAPÍTULO III.

DE LAS CAUSAS QUE MUDAN LA DIRECCION DEL MOVIMIENTO.

113 Habiendo tratado ya de las causas, absolutamente inevitables en la naturaleza, que retardan á cada instante la velocidad de los cuerpos en movimiento, hablaremos ahora de las que mudan la direccion de ellos.

Si un cuerpo en movimiento muda de direccion, es forzado á ello por un obstáculo; por la razon de que siguiendo la primera ley (74), debe perseverar en su estado. Tres son las especies de obstáculos que pueden ocasionar variacion en la direccion del movimiento de los cuerpos: 1.° un obstáculo por donde pueda penetrar el móvil, como por exemplo,

Digitized by Google

una materia fluida en que pueda abrirse paso: 2.° un obstáculo impenetrable y fixo, como una materia sólida que opone al móvil toda su masa; á causa de la coherencia de sus partes, y de la union con el terreno sobre que está fixa: 3.° un obstáculo impenetrable, á la verdad, al móvil, pero que al mismo tiempo puede ser desalojado por el choque.

Variacion de direccion ocasionada por una materia fluida, ó refraccion.

114 Esta variacion de direccion, llamada *refraccion*, es el desvio que sufre un cuerpo, ó lo que se aparta de su línea de direccion, quando pasa obliqüamente de un intermedio á otro, con mayor ó menor resistencia que la que tiene el intermedio de adonde sale; de modo que su nueva direccion forma ángulo con la primera en el punto de contacto de los dos intermedios; en cuyo sitio se presenta esta línea de direccion como quebrantada; de adonde le viene el nombre de refraccion. Veamos quales son las condiciones esenciales para que un cuerpo en movimiento padezca esta especie de desvio, y qual es la causa de la refraccion de los cuerpos.

115 Si un móvil pasa de un intermedio á otro, por exemplo, del ayre al agua, ó del agua al ayre, no siendo igualmente penetrables para él estos intermedios, sea por la diferencia de sus densidades, sea por alguna otra causa, el uno le opondrá mas ó ménos resistencia que el otro. Esta mas ó ménos resistencia que padecerá el móvil de parte del nuevo intermedio (que nosotros llamaremos *intermedio refringente*), le hará dexar su primera direccion, con tal que entre en él obliqüamente; y á esto es á lo que se llama *refraccion*. Supongamos un grande estanque lleno de agua, cuya seccion esté representa-

Digitized by Google

da por *a b c d* (*fig.* 8). No se puede dirigir un cuerpo hácia la superficie *a c* del agua, mas que de dos modos; esto es, ó por una perpendicular al plano que separa los dos intermedios, como *i f*, ó por una línea mas ó ménos obliqüa á este mismo plano, tal como una línea tomada entre *i f* y *c f* que termine en el punto *f*; porque si el cuerpo siguiese la línea *c f*, ú otra qualquiera línea que le fuese paralela, es evidente que no entraria jamas en el agua, y que por conseqüencia no mudaria de intermedio. Si un cuerpo esférico *e* cae sobre el plano del agua por la perpendicular *i f*, prueba la experiencia que continua moviéndose por *f n*, y por conseqüencia que no sufre refaccion ninguna. Pero si sigue al caer una línea obliqüa, como *l f*, es para él un intermedio refringente el agua que comienza á tocar en el momento en que llega á *f*; y la experiencia prueba tambien que en lugar de continuar su movimiento en línea recta, y de ir de *f* á *g*, recibe una nueva direccion que forma ángulo con la primera en el punto *f*, y que le lleva á mayor altura que la del punto *g*, como por exemplo de *f* á *h*; alejándole de la perpendicular *f n*. Luego, en este caso, padece el móvil una refraccion que le aleja de la perpendicular hacia el plano que separa los dos intermedios.

116 Se verifica la refraccion en direccion contraria, si el móvil pasa del agua al ayre, ó en general de un intermedio denso á otro que lo sea ménos, de un intermedio que sea de bastante resistencia á otro que no sea de tanta. Si el móvil, por exemplo, ha descrito en el agua la línea *h f*, no continuará en el ayre su movimiento en línea recta por la *f m*; sino que la refraccion que padecerá en el punto *f*, le hará tomar una nueva direccion, y le llevará á un punto mas elevado que el punto *m*; co-

Digitized by Google

mo por exemplo á *l*; lo qual le acercará á la perpendicular *i f*.

117 Depende pues la refraccion de dos condiciones absolutamente esenciales, y sin las quales no se verifica. Es la primera el tránsito del móvil de un intermedio á otro mas ó ménos resistente; y la segunda, la obliqüidad de incidencia de parte del móvil. Si el móvil, pues, pasa obliqüamente de un intermedio de ménos resistencia á otro de mas resistencia, se refracta alejándose de la perpendicular imaginada en el plano que separa los dos intermedios, formando su ángulo de refraccion mas grande que su ángulo de incidencia. Pero si el móvil pasa obliqüamente de un intermedio de mayor resistencia á otro de menor, se refracta, acercándose á la perpendicular que se imagina, levantada en el plano que separa los dos intermedios; en una palabra, formando su ángulo de refraccion, menor que su ángulo de incidencia.

Estos son los hechos tales como los presenta la experiencia: veamos ahora quales son los principios en que estan apoyados.

118 Hemos dicho (115) que aunque haya mutacion de intermedio, si no hay obliqüidad en la incidencia, como si el móvil *e* cayese por la línea *i f* perpendicular á la superficie *a c* del intermedio refringente, no se verifica refraccion alguna. La razon es esta. Supongamos que el móvil *e* (*fig.* 9) cae desde el punto *f* al vaso lleno de agua *a b c d*, por la línea *g b* perpendicular á la superficie *a d* del agua; este móvil se halla sucesivamente en el ayre y en el agua, y no padece resistencia de parte de estos intermedios mas que en el emisferio inferior *a m d*. En tanto que está en el ayre (al que suponemos en reposo y de una densidad uniforme), las resistencias que padece por un lado se compensan con

Digitized by Google

las que padece por el opuesto; con lo que se halla igualmente retardada su velocidad en todos sus puntos; y su centro no debe apartarse de la línea *f e*. Lo mismo se puede decir quando se considera al móvil enteramente sumergido en el agua; con sola la diferencia de que la resistencia de este último intermedio es mas grande que la del primero; lo que contribuye para retardar mas la velocidad del móvil; pero no para apartarle de su primera direccion; á causa de que esta resistencia obra igualmente en todas las partes de él. Se puede tambien aplicar el mismo raciocinio al tránsito del móvil del ayre al agua; porque quando comienza á sumergirse, resiste el agua directamente en *m*, en una direccion que pasa por el centro *e*; y al sumergirse hasta *n o*, las resistencias que padece de *n* á *m*, se compensan con las que padece de *o* á *m*: del mismo modo, al sumergirse de mas en mas, *n i*, *i a*, y sus correspondientes *o r*, *r d*, participan estas partes sucesiva é igualmente de la resistencia del nuevo intermedio; y estas resistencias de una parte y otra se equilibran, y mantienen siempre el centro *e* en la línea *g b*. Esto prueba con toda exâctitud que la obliqüidad de incidencia en el móvil, es una condicion absolutamente esencial para que se verifique la refraccion; pues que sin ella continua el móvil su movimiento en la primera direccion; aunque pase de un intermedio á otro de una retistencia diferente. Un cuerpo que cae en el agua por una línea perpendicular á la superficie de ella, debe hallarse en el fondo en el punto perpendicular á aquel por donde entró en el agua; con tal que esta no sea corriente, y sí esté en quietud como la de un estanque. No sucede lo mismo si el agua es corriente, tal como la de un rio, pues apénas ha entrado el cuerpo en el agua, quando la velocidad de la corriente le arrastra tras sí; en

Digitized by Google

cuyo caso su movimiento es compuesto de esta velocidad, y de la que adquirió en su caida. No sucederia tampoco lo mismo, si aunque el agua estuviese en quietud, el cuerpo tuviese una figura tal que padeciese mayor resistencia por un lado que por otro; lo qual le haria apartar de su primera direccion.

119 Ni tampoco sucede lo mismo quando el móvil se presenta obliqüamente al plano que separa los dos intermedios (115). Supongamos el móvil m' (*fig.* 10), que llega del punto m á la superficie del agua en la direccion $d\,f$ obliqüa á esta superficie: en tanto que está del todo en el ayre, como en m, obran igualmente por todos los lados los obstáculos que se presentan á su emisferio anterior $c'\,e'\,l'$, como lo hemos dicho mas arriba (118); cuya igualdad mantiene al móvil en la direccion $m\,e$. Pero quando pasa del ayre al agua, este mismo hemisferio $c\,e\,l$, encuentra, durante todo el tiempo de su inmersion, obstáculos mas dificiles de vencer de un lado que del otro; por padecer el punto g quando llega al agua, mas resistencia que la que padece su correspondiente b, que no encuentra aun mas que ayre; y como un móvil se inclina siempre al lado hácia donde encuentra ménos resistencia, queda perdido el equilibrio entre los obstáculos de una parte y otra, y el centro m' se inclina al lado mas débil, y comienza á apartarse de su primera direccion $d\,f$. Por otra parte, como la velocidad del móvil se aminora cada vez mas por su inmersion en el agua, y el móvil padece siempre mas resistencia en la parte $e\,g\,l$ que la que padece en la parte correspondiente $e\,b\,c$, hasta que su hemisferio anterior $c\,e\,l$ esté enteramente sumergido, su centro m' abandona cada vez mas su primera direccion, y desciende por una curba pequeña $m'\,s$, en cuyo último elemento s comienza la nueva direccion $s\,n$; lo qual le aleja de la perpendicular $a\,b$, ima-

Digitized by Google

ginada á la superficie del agua, y forma el ángulo de refraccion mas grande que el ángulo de incidencia.

120 Si el intermedio *o* en el qual se mueve primeramente el móvil, fuere de mayor resistencia que el intermedio *r* al qual pasa (116), padecerá entónces el móvil *m'* una resistencia menor en la parte *e g l*, que en la parte *e b c*, y la curva *m' s* se trazará, en este caso, en direccion contraria; por cuya causa se acercará la línea de la nueva direccion á la perpendicular *a b*, haciendo el ángulo de refraccion ménor, que el ángulo de incidencia.

121 La refraccion es susceptible de ser mayor ó menor; y la diferencia que produce entre los ángulos de incidencia y de refraccion puede ser mas ó ménos grande, segun sean las circunstancias. Depende este mas ó ménos, 1.° del grado de obliqüidad con que el móvil llega al intermedio refringente: 2.° del grado de densidad de este intermedio refringente: 3.° de la magnitud del móvil; y 4.° de la velocidad del móvil.

122 1.° Hemos visto (118) que la refraccion es nula, quando la direccion del móvil es perpendicular á la superficie del intermedio refringente: que comienza quando comienza la obliqüidad de incidencia (119), aumentándose por consiguiente á proporcion que esta se aumenta. Porque 1.° quanto mas grande es la obliqüidad, mas considerable es la refraccion; pues si el móvil, en lugar de seguir la direccion *d f* para llegar al intermedio refringente, sigue la direccion *d' f'*, mas obliqüa que la primera, padecerá una refraccion mas grande; por la razon de que en este caso estará toda entera sumergida en el agua, la parte *e g l* del hemisferio anterior, en tanto que la parte *e b c* estará aun toda entera en el ayre; y la diferencia entre las resistencias sobre las partes correspondientes, será mas grande: luego

Digitized by Google

la refraccion aumenta con la obliqüidad de incidencia. 2.° Aumenta tambien proporcionalmente á esta obliqüidad; porque, si en diferentes casos suponemos un mismo móvil y unos mismos intermedios, qualesquiera que sean los diferentes grados de obliqüidad con que el móvil llegue al intermedio refringente, habrá, en todos los casos, la misma relacion entre los ángulos de incidencia y de refraccion. Por exemplo, en las dos incidencias de diversa obliqüidad *b c* y *g b* (*fig.* 11), si se compara los ángulos de incidencia *b c a* y *g b f*, con los ángulos de refraccion *d c e* é *i b l*, los quales se miden por las líneas *a b*, *f g*, *d e*, é *i l*, que son sus senos, se verá que si *a b* es á *d e* como 2 es á 3, las dos líneas semejantes *g f* é *i l*, que representan el caso de una refraccion mas grande, estan tambien en la misma razon entre sí; luego, siendo todo igual, aumenta la refraccion proporcionalmente á la obliqüidad de incidencia.

123 Quando la incidencia es muy obliqüa, sucede freqüentemente que el móvil, en lugar de sumergirse en el intermedio refringente, se reflexa como si cayese sobre un plano sólido. Esto es lo que se verifica, quando se tira una bala muy obliqüamente á la superficie del agua; por la razon de que en este caso le rehusa el agua por mucho tiempo el paso, en términos que le da lugar de continuar su movimiento en el ayre; reflexándose de la superficie del agua como lo haria de la de un plano sólido, y por las mismas razones (132). Esto manifiesta lo poco seguro que estaria el que se hallase en la direccion del movimiento reflexo de una bala que se tirase muy obliqüamente á la superficie del agua.

124 2.° Depende tambien la magnitud de la refraccion, de la densidad mas ó ménos grande del intermedio refringente, siendo todo lo demas igual. Si

pongamos un mismo cuerpo arrojado con el mismo grado de obliqüidad, sucesivamente hácia diferentes intermedios de densidades desiguales, y veremos que el intermedio que tenga mayor densidad ocasionará mayor refraccion; por dimanar esta, como lo hemos probado mas arriba (119), de la diferencia de resistencia de los dos intermedios que obran, cada uno sobre la porcion de la superficie anterior del móvil que corresponde á ellos. Ahora, esta diferencia es tanto mas grande, quanto mas densidad tiene el intermedio refringente, siendo siempre la misma la del otro; luego, &c.

125 3.° Depende asimismo la magnitud de la refraccion de la magnitud del móvil; porque, como acabamos de decir (124), no es otra la causa de la refraccion, que la diferencia de resistencia de los dos intermedios que obran sobre la superficie anterior del móvil que corresponde á ellos. Ahora, la resistencia del intermedio refringente, del agua, por exemplo, es tanto mas grande, quanto mayor es el número de sus partes chocadas; y el número de estas es tanto mas grande, quanto mas volúmen tiene el móvil: sea este esférico, por exemplo, quando llega al agua no la toca con un solo punto, sino siempre con un segmento; el qual choca un número de partes tanto mas grandes, quanto lo es la esfera de quien es parte, de modo que aumente su extension, y disminuya su convexidad; luego quanto mas grande sea este móvil, mas resistencia padece de la parte del agua; lo qual ocasiona mayor refraccion. En efecto, como una muy grande resistencia de la parte del intermedio refringente, es la que hace que en ciertos casos tenga el móvil un movimiento reflexo, y no refracto; observó el Abate *Nollet*, que una bala de seis líneas de diámetro entraba en el agua, quando su direccion formaba un ángulo de seis grados con la

Digitized by Google

superficie del agua, en tanto que una bala mas gruesa, con igual incidencia, se reflexaba; y que una bala de cañon se reflexa seguramente baxo un ángulo mucho mas abierto; lo qual prueba con toda exâctitud, que la resistencia se va haciendo mas grande á proporcion de lo que aumenta la magnitud del móvil.

126 4.° Se debe tambien tener presente, que influye sobre la magnitud de la refraccion la velocidad con que el móvil llega á la superficie del intermedio refringente; á causa de que la resistencia de los intermedios, no aumenta solo en la razon de la velocidad con que se les choca, sino poco mas ó ménos como el quadrado de esta velocidad (83). Luego la resistencia del intermedio refringente es mas grande, quando se le hiere con mayor velocidad; lo qual aumenta la refraccion.

127 De todo lo que acabamos de decir se sigue, que para medir la refraccion de un cuerpo, es preciso hacer atencion á quatro cosas: 1.° al grado de obliqüidad con que el móvil llega al intermedio refringente; 2.° al grado de densidad de este intermedio; 3.° á la magnitud del móvil; y 4.° á la velocidad con que se mueve.

Variacion de direccion ocasionada por un obstáculo impenetrable y fixo, ó reflexion.

128 Esta variacion de direccion, es aquella que recibe un cuerpo, puesto en movimiento, quando encuentra un obstáculo impenetrable para él, y fixo; el qual le obliga á retroceder, haciéndole saltar despues del choque. La verdadera causa de esta variacion de direccion es la elasticidad de los cuerpos; de tal modo, que si los cuerpos no tuviesen elasticidad, no se verificaria reflexion alguna en

Digitized by Google

ellos; luego no hay mas cuerpos que los elásticos que puedan ser susceptibles de este movimiento reflexo. No todos los cuerpos elásticos son igualmente elásticos (32, 33); como ni tampoco se encontrará ninguno que lo sea perfectamente, si se exceptua la materia de la luz, y los fluidos aëriformes. Sin embargo, para hacer la teoría mas fácil y sencilla, supondremos que los cuerpos, ó no tienen elasticidad alguna, ó que la tienen perfecta, y por conseqüencia que son capaces de una reaccion perfecta.

129. Si los cuerpos no tienen elasticidad no hay en ellos movimiento reflexo. Déxese caer un cuerpo sobre tierra blanda, y se verá que hace un hoyo en ella, y que pierde todo su movimiento. Quando comienza el cuerpo á tocar la tierra blanda, tiene una cierta cantidad de movimiento adquirido por su caida; á expensas de cuyo movimiento desaloja una porcion de aquella tierra. Luego no debe cesar de moverse hasta que las partes que ha encontrado hayan sido llevadas tan léjos como lo exíge su esfuerzo; á causa de que un cuerpo en movimiento no puede quedar reducido al reposo si no hay un obstáculo cuya resistencia iguale al producto de su fuerza; y no teniendo esta tierra, que nosotros hemos supuesto sin elasticidad, nada que pueda volver al móvil el movimiento que ha perdido al introducirse en ella; es constante que no se verificará ninguna reflexion.

130. Los cuerpos sin elasticidad, ó que tienen muy poca, son los mas á propósito para destruir los esfuerzos violentos; á causa de que retardan por grados la velocidad del móvil, y de que le reducen al reposo cediendo de mas á ménos. Todos los obstáculos que ceden así, dividen el esfuerzo del móvil, y detienen como en muchas veces una potencia que no dexaria de forzarlos, si su accion estuviese reunida

Digitized by Google

en un tiempo mas corto. Una tabla de encina no detiene la bala de un fusil, y un saquillo lleno de lana ó de tierra no dexará de amortecerla. Una bala de cañon hace poco efecto sobre uno ó mas colchones suspendidos libremente en el ayre, en tanto que penetra una muralla.

131 Si los cuerpos son elásticos, puede haber entre ellos movimiento reflexo. Supongamos pues, que el obstáculo *a b* (*fig.* 12) es un cuerpo cuya elasticidad es perfecta, y que el cuerpo *c* es perfectamente duro, y por conseqüencia nada élástico: pues si este cuerpo *c* cae desde *f* á *g* con un cierto grado de velocidad, y en una direccion perpendicular al obstáculo *a b*, le hiere con una fuerza que resulta de su masa y de su velocidad (63): el punto *g* es el primero á quien comprime el móvil *c*, por ser el primero á quien encuentra; y despues de él á todos los demas puntos que le siguen por un lado y otro, hasta los puntos *d* y *e*, que son los últimos comprimidos; de modo, que el punto de contacto *g* es llevado, en virtud de este esfuerzo, hasta *h*, y el cuerpo produce en el obstáculo el hoyo ó profundidad *d h e*. Este efecto no se verifica en un instante indivisible, sino que exîge para ser producido un tiempo finito, que aunque muy corto puede ser dividido en muchos instantes. En el primer instante, el móvil *c* emplea contra un espacio muy pequeño del obstáculo que encuentra, un esfuerzo que es como su masa y su velocidad actual; en conseqüencia del qual desaloja las partes que encuentra ó toca; cuyo desalojamiento ocasiona una resistencia que destruye una porcion de la velocidad del móvil. Luego, en el segundo instante, tiene este móvil ménos resistencia que en el primero. Mas, en este segundo instante permiten al móvil las partes hundidas el que toque al obstáculo por una superficie mas grande, y

Digitized by Google

el que obre sobre un número mayor de partes: aun mas, estas partes reunidas con la compresion que sufriéron en el prmer instante, resisten mas; todo lo qual retarda tambien la velocidad del móvil. Las mismas razones militan para que se retarde mas en el tercer instante; y así de seguida hasta que el móvil haya consumido todo su movimiento. Se ve en todo lo dicho, que la velocidad del móvil disminuye en cantidades que se van siempre aumentando. Quando el móvil *c* ha consumido toda su fuerza, las partes hundidas *d b e*, que suponemos perfectamente elásticas, no teniendo quien las detenga, se restablecen en su primer estado; forzando á retroceder al móvil *c* delante de ellas, sin dexarle salir de la misma direccion que ellas tienen. La parte *b*, que fué la primera que hundió el móvil, se restablece tambien ántes que las demas; é impele al móvil *c* en la direccion *g f*; direccion de la qual no debe salir, por la razon de que sus partes correspondientes á uno y otro lado, obedecen á reacciones semejantes. A mas, esta parte *b* es llevada á *g* con una velocidad igual á aquella con la qual fué desalojada; y su velocidad, así como la del móvil *c* que ella impele delante de sí, es acelerada en la misma proporcion en que fué retardada ántes; de modo que quando, por esta reaccion, ha llgado el móvil *c* á ser tangente con la superficie *a b*, tiene una velocidad igual á la que tenia al llegar (quando caia) á esta superficie; y por conseqüencia una fuerza capaz de llevarle de *g* á *f* en un tiempo igual al que empleó en caer de *f* á *g*. Hemos dicho que el móvil *c* llega á la superficie *a b* por una línea *f g* perpendicular á esta superficie, y formando con ella un ángulo recto: por lo que acabamos de decir últimamente, se ve que este móvil sube ó reflexa por la misma línea; luego en este caso su ángulo de refle-

Digitized by Google

xion es igual al de su incidencia.

132 Pero suele suceder con freqüencia, que el móvil cae obliqüamente sobre el obstáculo; en cuyo caso varía de direccion, reflexando por otro camino; por el motivo de que sus partes correspondientes sufren resistencias desiguales. Supongamos que el móvil *c* (*fig.* 13) llega á la superficie *a b* por la línea obliqüa *l e*, formando con esta superficie el ángulo *l e b*. Supongamos tambien, que el móvil *c* es perfectamente duro, y que el obstáculo *a b* es perfectamente elástico. El móvil *c* toca primeramente al obstáculo en el punto *g*, por lo que su velocidad comienza á retardarse: despues, al hacer ó producir el hoyo *g f*, que suponemos ser el valor de su esfuerzo, toca á cada instante una superficie mayor, obra sobre un número mayor de partes, y sobre partes cada vez mas resistentes, por haber sido reunidas con la compresion que han sufrido en los primeros instantes; de modo, que su velocidad se retarda en cantidades que van siempre aumentando (131); lo qual hace que su centro, en lugar de descender por una línea recta, descienda por la curva *c e*. Quando el móvil ha consumido todo su movimiento, no estando ya detenidas las partes hundidas, se restablecen sucesivamente, y segun el órden con que han sido comprimidas; con lo qual se acelera, al subir, la velocidad del móvil, en la misma proporcion en que se retardó al baxar (131); por cuya causa sube el centro del móvil por la curva *e d* perfectamente semejante á la curva *e c*, por la qual descendió. Así como la extremidad *c* de la línea *l c* de su incidencia, es el principio de la primer curva *c e*, del mismo modo la extremidad *d* de la segunda curva *e d*, es el principio de la línea *d b* de su reflexion; lo que hace al ángulo de reflexion *b e d* perfectamente igual al ángulo de incidencia *l e b*.

Digitized by Google

La igualdad de estos ángulos de incidencia y de reflexion, se demuestra de un modo geométrico, haciendo uso de un principio que emplearemos mas adelante (162); á saber, que el móvil que corre la línea *l e*, procede como si obedeciese á dos potencias; de las quales la una le pudiese hacer caminar la cantidad ó espacio *l m*; en el mismo tiempo que la otra le pudiese hacer descender la cantidad *i b*. Si quando ha llegado á *e*, le quita una causa qualquiera toda su velocidad de arriba abaxo, sin disminuirle nada su velocidad horizontal, debe correr la línea *e a* en un tiempo igual al que empleó en baxar de *l* á *e*, por no estar ya impelido mas que por una potencia. Pero si en lugar de esta suposicion hacemos la de que, si quando el móvil está en *e*, se convierte la potencia que le impele de arriba abaxo, en otra potencia de igual fuerza, pero que le solicite á moverse de abaxo arriba, será de nuevo impelido por dos potencias; de las quales la una será *e m*, y la otra *e a*; y seguirá la diagonal *e b*, que forma necesariamente con el plano *a b* un ángulo igual al que forma con el mismo plano la diagonal *l e*; por ser estas dos líneas las diagonales de dos paralelógramos iguales, y semejantemente colocados. Ahora, hemos visto mas arriba (131) que el movimiento de arriba abaxo se muda, en igual grado, en otro de abaxo arriba, que le es directamente opuesto; luego, &c.

133 Hemos supuesto que el móvil es perfectamente duro; y no hemos hecho atencion mas que á la elasticidad del plano que reflecta; pero se debe advertir, que los mismos efectos se verificarán en caso que el plano sea perfectamente duro, y el móvil bien elástico; por la razon de que aplanándose este con el choque, las partes comprimidas, al restablecerse, se apoyarán sobre el plano, é impele-

Digitized by Google

rán al móvil con una velocidad igual á aquella con la qual han sido ellas comprimidas, y en una direccion contraria. Es verdad, que ninguna de estas dos suposiciones se encuentra en la naturaleza; pues que no se halla en ella cuerpo alguno perfectamente duro, por tener todos elasticidad poca ó mucha (33). Así, siempre que se verifica reflexíon en los cuerpos, tienen parte en ella el móvil y el obstáculo, cada uno en razon de su grado de elasticidad.

134 El que haya ó no en el móvil algun momento de reposo entre la incidencia y la reflexíon, ha sido asunto de disputa: algunos filósofos han estado por la afirmativa, y otros por la negativa. Para decidir esta qüestion se necesita saber como la ha entendido cada uno. Es cierto que un cuerpo elástico que llega á chocar en un plano, se estira y se aplasta poco á poco, mudando su figura; y consume lentamente todo el movimiento que tenia, y que emplea en contraer ó reconcentrar su elasticidad. Luego que la elasticidad se ha reconcentrado y contraido del todo, y que el cuerpo ha perdido todo su movimiento, se desenvuelve y desarrolla inmediatamente la elasticidad, sin que haya ó medie intervalo entre el principio del desarrollamiento y el fin de la contraccion. En efecto, ¿quál habia de ser la causa que obligase á la elasticidad á mantenerse reconcentrada, habiendo cesado enteramente el movimiento del cuerpo, y no oponiéndose nada á su desarrollo? Luego se desenvolverá inmediatamente, y dará al cuerpo, por grados, todo el movimiento que habia perdido; justamente como un péndulo que cae despues de haber consumido al subir todo su movimiento (258). Luego no habrá intervalo entre el fin de la contraccion, que se puede mirar como el término de la incidencia, y el principio del desarrollamiento, que se puede mirar como el primer mo-

Digitized by Google

mento de la reflexîon. Pero si se quiere tomar por el momento de incidencia aquel en que el cuerpo llega á tocar al plano, y por el momento de reflexîon aquel en que el cuerpo dexa enteramente al plano, es evidente que habrá un intervalo de tiempo finito, aunque muy corto, entre la incidencia y la reflexîon; á saber, el tiempo que la elasticidad emplea en contraerse y en desarrollarse.

135 De todo lo que acabamos de decir se sigue, que la elasticidad es la causa necesaria de la reflexîon; y que la direccion del movimiento reflexo es tal, que seria siempre el ángulo de reflexîon igual al ángulo de incidencia, si la reaccion fuese perfecta; pero como este caso es el mas raro, no se deben esperar con freqüencia, en la práctica, efectos bastante conformes con la teórica. Comunmente el ángulo de reflexîon es mas pequeño que el ángulo de incidencia, no solamente porque la elasticidad no es perfecta, sino tambien porque la pesantéz del móvil y la resistencia del ayre destruyen una parte de los efectos; siendo solo en el movimiento de la luz (1216), y en el de los fluidos aëriformes (1017), en donde son estos ángulos perfectamente iguales. Pero aunque esta igualdad de ángulos no se verifique quasi nunca, se ve, sin embargo, que es una regla establecida por la naturaleza, y fundada sobre leyes conocidas.

Los juegos de pelota y de trucos estan quasi enteramente fundados en las reglas del movimiento reflexo que acabamos de establecer.

Digitized by Google

Variacion de velocidad y de direccion ocasionada por un obstáculo impenetrable, y que puede ser desalojado; ó choque de los cuerpos.

136 Esta variacion de velocidad y de direccion es aquella que se observa en un cuerpo quando choca á otro que puede ser desalojado; por medio de cuyo choque se comunica el movimiento del cuerpo chocante al cuerpo chocado: el desalojamiento de este último cuerpo es el que nos va á hacer conocer las reglas segun las quales se comunica el movimiento del uno al otro. En quanto á la razon metafísica que hay para que el movimiento pase de un cuerpo á otro, debemos confesar de buena fe nuestra ignorancia sobre la causa primera; así, en ningun modo nos detendremos en esta qüestion; y solo exâminaremos las variaciones de que son susceptibles el móvil y el obstáculo, quando este último puede ser desalojado por el choque.

137 Podemos considerar aquí dos especies de cuerpos, unos blandos y sin elasticidad, ó reputados tales (33), y otros elásticos. La elasticidad de estos últimos altera los resultados de las leyes establecidas por la naturaleza. Para que se pueda conocer bien estas leyes, debemos suponer aquí dos cosas que no existen; á saber, 1.° que los cuerpos que se chocan, se mueven, ó en el vacío, ó en un intermedio nada resistente; y que no sufren rozamiento alguno: 2.° que estos cuerpos, ó tienen una elasticidad perfecta, ó no tienen ninguna. De modo, que en la práctica no corresponde jamas el efecto exâctamente á lo que exîge la ley.

138 Hay dos especies de choques de los cuerpos; á saber, el choque directo y el choque obliqüo. Se verifica el primero, quando la direccion de

Digitized by Google

los movimientos de los cuerpos pasa por sus centros de gravedad; y el segundo, quando esta direccion no pasa por ellos: el uno y el otro tienen reglas particulares; pero las del choque directo son mas fáciles de deducir que las del choque obliqüo; por la razon de que en este último hay muchas causas que influyen sobre el resultado; y no se puede conocer bien el efecto, á ménos que no se conozcan todas las causas que contribuyen á él. Para no complicar demasiado la qüestion, no trataremos aquí mas que del choque directo.

139 Quando dos cuerpos van á chocarse, ó el uno de los dos está en reposo, ó ámbos á dos estan en movimiento: si se mueven los dos, lo hacen, ó en una misma direccion, ó en direccion contraria, con velocidades iguales ó desiguales: pero ántes que estos dos cuerpos se choquen hay entre ellos un intervalo, que es preciso que sea corrido, ó por uno solo, ó por los dos, sin lo qual no puede haber choque entre ellos: este espacio no puede ser corrido mas que en un tiempo finito; y la duracion de este tiempo mide la velocidad respectiva (62) de estos dos cuerpos; es decir, la velocidad con que se juntan, sea que el uno de los dos esté en reposo, sea que se muevan ámbos á dos, en una misma direccion, ó en direccion contraria, con velocidades iguales ó desiguales.

140 Siendo conocida la velocidad respectiva, es preciso hacer atencion á las masas; por la razon de que el cuerpo chocado opone su inercia al cuerpo chocante; y ántes (41) hemos visto que esta resistencia es siempre proporcional á la masa. Así, quanta mas masa tenga un cuerpo, ménos velocidad recibe de un choque determinado.

Hablaremos ahora del choque de los cuerpos no elásticos, ó reputados tales; y despues trataremos del

Digitized by Google

choque de los cuerpos elásticos, en los quales supondremos una elasticidad perfecta.

Choque de los cuerpos no elásticos.

141 1.ª Regla. *Quando un cuerpo que se halla en reposo es chocado por otro cuerpo, se reparte la velocidad del cuerpo chocante entre los dos, con respecto á la masa que tiene cada uno.* Es decir, que despues del choque se mueven los dos cuerpos en la direccion del cuerpo chocante; siendo la velocidad comun de estos dos cuerpos tanto menor, quanto el cuerpo chocado tiene mas masa. Si los dos cuerpos son iguales en masa, la velocidad comun de estos dos cuerpos, despues del choque, es igual á la mitad de la que tenia el cuerpo chocante ántes del choque. Si el cuerpo chocante tiene una masa dupla de la del cuerpo chocado, la velocidad comun despues del choque, es igual á los dos tercios de la que tenia el cuerpo chocante ántes del choque. Si el cuerpo chocado tiene una masa dupla de la del cuerpo chocante, la velocidad comun despues del choque, no es mas que el tercio de la que tenia el cuerpo chocante ántes del choque, &c. En efecto, despues del choque, son como una sola masa los dos cuerpos reunidos: supongámoslos de masas iguales, y con peso de dos libras cada uno; una fuerza capaz de transportar, por exemplo, á diez varas de distancia, y en un tiempo dado, una masa de dos libras, no puede transportar mas que hasta cinco varas una masa dupla en igual tiempo; y de este mismo modo se procederá en todos los demas casos que se quiera suponer.

142 Obsérvese bien lo que sigue. En el instante del choque se causa un aplanamiento en los dos cuerpos; el qual siendo causado por la resistencia

Digitized by Google

del cuerpo chocado, es tanto mas considerable, quanto mas masa tiene este cuerpo chocado; á causa de que resiste mas en este caso (41). Para dar razon de estos aplanamientos, es preciso hacer atencion á que los efectos mas prontos, y que nos parecen instantáneos, no son jamas producidos sino en un tiempo finito; es decir, en un tiempo cuya duracion no es la mas corta que se puede imaginar. Quando los dos cuerpos comienzan á tocarse, las partes mas avanzadas del cuerpo chocante (aquellas que chocan las primeras) han perdido ya una parte de su velocidad, en tanto que el centro y las partes mas apartadas tienen aun toda la suya; luego no se verifica hasta pasados algunos instantes, muy cortos á la verdad, el que esta masa disminuida en movimiento, tome una velocidad igualmente retardada en todas sus partes. Pero las partes de un cuerpo no pueden moverse mas apriesa las unas que las otras, sin que varie su posicion relativa, y por conseqüencia la figura del cuerpo; luego el aplanamiento de este cuerpo es un efecto y una prueba de su velocidad retardada sucesivamente en muchos tiempos. Lo mismo se puede decir del cuerpo chocado, el qual no pasa en un mismo instante de su estado de reposo al grado de velocidad que adquiere; pues que las partes expuestas inmediatamente al choque, se mueven ántes que las demas. Esto ocasiona tambien un aplanamiento y una mutacion de figura; cuyos aplanamientos son, como acabamos de decir, tanto mas considerables, quanto los cuerpos tienen mas masa.

143. Pues que, siguiendo la primera regla (141), la velocidad disminuye á proporcion que la masa del cuerpo chocado aumenta, se sigue que el movimiento debe ser insensible despues del choque, quando el cuerpo chocado es infinitamente mas grande

Digitized by Google

que el cuerpo chocante. Esto es con efecto lo que se verifica; porque, por exemplo, una bala que se dispara contra una muralla, parece haber perdido todo su movimiento; siendo entónces la velocidad que ella conserva, á la que ha comunicado, como su masa es á la de la muralla. De este principio se ha sacado una conseqüencia que no parece exácta; y es que la masa mayor es siempre desalojada por el choque de la menor; lo que seria verdad si la masa chocada fuese absolutamente inflexible; pero no siéndolo, durará su resistencia el tiempo necesario para consumir toda la velocidad de la masa menor, con la introcesion de las partes, ocasionada por el choque, que es lo que produce el aplanamiento (142).

144 2.ª Regla. *Quando dos cuerpos que se mueven en una misma direccion con velocidades desiguales llegan á chocarse, ya sean sus masas iguales ó no, continúan moviéndose juntos y en su primera direccion, con una velocidad comun, ménos grande que la del cuerpo chocante, pero mayor que la del cuerpo chocado, ántes de la percusion.* Quando el cuerpo que tiene mas velocidad encuentra al que tiene ménos, la lentitud de este es un obstáculo para el otro; pero siendo movible este obstáculo, debe partirse, segun la primera regla (141), entre los dos, proporcion de sus masas, el exceso de velocidad que tiene el uno sobre el otro. Porque si suponemos que se quita á uno y á otro de estos dos cuerpos una cantidad de velocidad igual á la que tiene el mas lento ántes del choque, este último quedará en reposo ántes de ser chocado; y la velocidad del mas acelerado no será otra sino aquella en que excedia á la velocidad del mas lento; cuyo caso seria absolutamente el mismo de la primera regla, pues se tendria un cuerpo en reposo chocado por otro, cuya velocidad debe partirse entre los dos segun la rela-

Digitized by Google

cion de las masas. Vuélvaseles en seguida á cada uno de estos cuerpos la cantidad de velocidad que hemos supuesto habérseles quitado, y resultará que el cuerpo chocado tendrá su primera velocidad, y á mas la adquirida por el choque; y el cuerpo chochante su primera velocidad, ménos la que ha comunicado al cuerpo chocado. Supongamos, por exemplo, dos cuerpos *a* y *b* iguales en masas; y désele á *a* 8 grados de velocidad, y á *b* 4 solamente: al chocar el cuerpo *a* al *b* le comunicará 2 grados de velocidad, mitad de su exceso; y ámbos á dos caminarán con una velocidad comun de 6 grados. Désele á cada uno 4 grados ménos de la velocidad que les hemos supuesto; *a* no tendrá mas que los 4 grados en que excedia al cuerpo *b*, y este estará en reposo: he aquí el caso de la primera regla. Vuélvasele á cada uno estos 4 grados, y quedará *b*, cuerpo chocado, con los 4 grados de velocidad primera, y á mas los dos grados adquiridos por el choque; y *a*, cuerpo chocante, con los 8 grados de velocidad primera, ménos los 2 grados comunicados al cuerpo chocado. Es pues evidente, que en todos los casos se aumenta siempre la velocidad propia del cuerpo chocado, y siempre disminuye la del cuerpo chocante; lo qual se verifica siguiendo siempre la relacion de sus masas. Luego, &c.

145 3.ª Regla. *Si los dos cuerpos que deben chocarse, se mueven en sentido directamente contrario, perece el movimiento en el uno y en el otro, ó por lo ménos en el uno de los dos: si queda alguno despues del choque, caminan los dos cuerpos en una misma direccion, y la cantidad de su comun movimiento es igual al exceso del uno de los dos sobre el otro, ántes del choque.* Esto quiere decir, que si los dos cuerpos tienen cantidades iguales de movimiento, perece el movimiento en el uno y en el otro, y ám-

Digitized by Google

bos á dos quedan reducidos al reposo. Si el uno de los dos tiene mas movimiento que el otro, no queda mas movimiento despues del choque que el exceso del mas grande sobre el mas pequeño; lo qual causa el movimiento comun de los dos cuerpos. Y como la cantidad de movimiento de un cuerpo resulta de su masa multiplicada por su velocidad (63), se sigue, que si dos cuerpos llegan á chocarse con velocidades que esten en razon inversa de sus masas, quedan reducidos al reposo ámbos á dos, á causa de que se chocan con iguales cantidades de movimiento. Puede pues crecer el esfuerzo de un móvil, no solamente por la velocidad, sino tambien por la masa; y esta es la razon que tienen los jugadores de pelota quando para aumentar su fuerza eligen las requetas mas pesadas; porque al hacerles mover, con la misma velocidad, se hiere con ellas mas fuertemente á la pelota, si tienen mas masa.

De todo lo que acabamos de decir del choque de los cuerpos no elásticos, se sigue:

146 1.° Que quando despues del choque siguen una misma línea las direcciones de los movimientos de los cuerpos que se chocan, exîste entónces en los dos cuerpos reunidos, una cantidad de movimiento igual á la que subsistia en el uno de los dos ó en ámbos á dos ántes del choque.

147 2.° Que quando las direcciones de los movimientos de estos cuerpos son contrarias, perece por lo ménos una parte del movimiento, si no perece todo; y que si queda alguno despues del choque, es igual á la diferencia de las dos cantidades de movimiento ántes del choque.

Choque de los cuerpos elásticos.

148 En todo lo que hemos dicho correspondien-

te al choque de los cuerpos no elásticos, hemos observado siempre dos efectos principales: á saber, 1.° una comunicacion de movimiento del cuerpo chocante al cuerpo chocado: 2.° una variacion de figura ó un aplanamiento en el uno y en el otro, en el sitio del contacto. Estos dos efectos tienen por causa comun el choque ó la percusion; cuya accion es el motivo de que la velocidad se transmita y se distribuya uniformemente entre las dos masas; durante la qual reparticion, varian las figuras con los aplanamientos que produce la inercia de las masas (41).

149 Las mismas leyes sigue precisamente la naturaleza en el choque de los cuerpos elásticos; pero como las partes hundidas por el choque se restablecen, se une este último efecto al del movimiento comunicado, y ocasiona mucha variacion en los resultados.

150 Distinguiremos pues aquí dos especies de movimientos; uno, que es independiente de la elasticidad, al que llamaremos *movimiento primitivo*: otro que nace de la reaccion de las partes aplanadas ó comprimidas por el choque, al que llamaremos *movimiento de elasticidad*, ó simplemente *reaccion*; el qual dobla siempre el movimiento comunicado.

151 1.ª Regla. *Quando un cuerpo elástico va á chocar á otro cuerpo elástico que está en reposo, ó que se mueve en la misma direccion, se mueve este despues del choque en la direccion del cuerpo que le ha chocado con una velocidad compuesta de la que se le dió inmediatamente ó por comunicacion, y de la que adquiere por su reaccion despues del choque; y el cuerpo chocante, cuya elasticidad obra en direccion contraria, pierde en todo ó en parte lo que habia conservado de su primera velocidad; advirtiéndose que si su movimiento de elasticidad excede al resto de su velocidad primera, retrocede mas ó ménos segun*

Digitized by Google

el valor de este exceso. Y en todos los casos, la velocidad respectiva es, despues del choque, la misma que era ántes. Para entender bien esta regla supongamos primero, que uno de estos cuerpos está en reposo: 1.° si los dos cuerpos tienen masas iguales, con el choque recibirá el cuerpo en reposo, tanto por comunicacion como por reaccion, una cantidad de movimiento igual á la que tenia el otro ántes del choque; y este último quedará reducido al reposo por su elasticidad, que destruirá el resto de su velocidad primitiva. No se haga la objecion que de dos esferas de marfil iguales en masa, la que es impelida contra la otra, no queda reducida al reposo; pues esto procede de que se da á esta esfera dos especies de movimiento: el uno de impulsion hácia adelante, y el otro de rotacion sobre su exe. El movimiento de impulsion queda totalmente destruido con el choque, como se acaba de decir; y el de rotacion subsistiendo aun, obliga á la esfera á avanzar; por no poder ménos de hacerlo así todo cuerpo que rueda sobre un plano. 2.° Si las masas son desiguales, y el cuerpo chocado tiene la menor, ámbos á dos caminarán despues del choque en la direccion del cuerpo chocante; pero este último tendrá ménos velocidad que el otro. 3.° Si las masas fuesen tambien desiguales, y el cuerpo chocado tuviese la mayor, este cuerpo chocado caminará solo en la direccion del cuerpo chocante, y este último retrocederá. Supongamos ahora que los dos cuerpos se mueven en una misma direccion: ámbos á dos caminarán tambien despues del choque en una misma direccion; pero el cuerpo choeante mas despacio, á ménos que el cuerpo chocado no tenga mucha mas masa que el chocante, en cuyo caso este último retrocederá. Y en todos los casos será la velocidad respectiva (62), despues del choque la misma que era ántes.

Digitized by Google

152 Se verá la razon de todos estos efectos, si se hace atencion á que en el choque de los cuerpos con elasticidad, del mismo modo que en el de los cuerpos que no la tienen, el movimiento del cuerpo chocante, ó el exceso de movimiento de este cuerpo sobre el del cuerpo chocado, se comunica á este último siguiendo la relacion de las masas. Pero es preciso añadir á esto, 1.° que la reaccion dobla siempre en el cuerpo chocado la cantidad de movimiento que este adquiere por comunicacion: 2.° que esta misma reaccion procura con otra tanta fuerza rechazar al cuerpo chocante hácia atras; haciéndole perder en su primera direccion otro tanto movimiento como ha perdido ya por el choque: de suerte que, en todos los casos, pierde el cuerpo chocante una cantidad de movimiento igual á la que recibe el cuerpo chocado. Así, la reaccion dobla siempre estos dos efectos; esto es el movimiento comunicado al cuerpo chocado; y la pérdida que sufre el cuerpo chocante, al ser rechazado hácia atrás: un muelle que se afloxase entre dos cuerpos produciria el mismo efecto. Esto explica muy bien el retroceso de las armas de fuego, la elevacion de los cohetes, y otras cosas semejantes. La pólvora que se inflama, es un muelle que se desarrolla entre la bala y la culata del cañon; y lo mismo es entre el cohete y el ayre á quien hiere con la velocidad necesaria para que le sirva de punto de apoyo.

153 2.ª Regla. *Quando dos cuerpos elásticos, iguales ó desiguales en masas, llegan á chocarse el uno al otro en direccion contraria, y con velocidades propias que sean iguales ó desiguales; se separan despues del choque, y su velocidad respectiva es la misma que ántes de él.* Si estos dos cuerpos no fueran elásticos, sucederia que, ó se detendrian recíprocamente, ó el uno de los dos se llevaria al otro,

Digitized by Google

como hemos dicho mas arriba (145); luego se separan en virtud de su reaccion. Pero esta reaccion es igual á la compresion causada por el choque (112); y la compresion es como la velocidad respectiva ántes del choque; luego la velocidad que resulta de ella despues del choque debe ser semejante. El artículo anterior (152) hará tambien conocer la razon de todos estos efectos.

154 Con respecto á los cuerpos elásticos, cuya elasticidad sea perfecta, prueba la experiencia, 1.° que quando dos cuerpos que caminan en una misma direccion, ó de los quales el uno está en reposo, se chocan en términos que despues del choque vayan aun en la misma direccion, ó que el uno de los dos quede en reposo, la suma de los movimientos es la misma despues que ántes de la percusion:

155 2.° Que si el uno de los dos cuerpos vuelve hácia atras, se halla ser mas grande la cantidad de movimiento despues que ántes del choque. Hay mas, y es que la cantidad de movimiento del cuerpo chocado excede aun á la del movimiento primitivo ántes del contacto; y este exceso de movimiento en el cuerpo chocado, iguala la cantidad de aquel que retrocede despues del choque:

156 3.° Que quando los dos cuerpos llegan á chocarse en direccion contraria, jamas la suma de los movimientos es mayor despues del choque que ántes de él; sino que puede ser aun menor; en cuyo caso es igual la pérdida á la cantidad que gana el uno de los dos cuerpos.

157 Si se quiere exâminar experimentalmente la verdad de lo que expresan las reglas que siguen los cuerpos en su choque, que yo supongo siempre ser el choque directo (138), es preciso tener cuidado de servirse de cuerpos esféricos, y de que sus

Digitized by Google

centros de gravedad se encuentren en la direccion de sus movimientos.

158 Téngase presente que no se debe dar valor á la impulsion de los fluidos segun las reglas que acabamos de establecer tocante al choque de los cuerpos sólidos, porque estando compuestos estos últimos de partes que tienen entre sí una fuerte coherencia, obran segun toda su masa y su velocidad actual. No sucede lo mismo en la accion de los fluidos, pues que en virtud de la movilidad respectiva de sus partes, solo hacen esfuerzo aquellas que tocan al obstáculo; y las otras, como no pierden su velocidad, no contribuyen por conseqüencia á este esfuerzo. Esta es la causa de que el agua y el ayre no comuniquen de pronto su velocidad al móvil; siendo preciso el que se pase un cierto tiempo para que este móvil reciba todo el movimiento que se le puede comunicar. Es fácil convencerse de esto observando las aspas de un molino de viento, ó la piedra de un molino de agua, quando comienzan á moverse.

Recapitulacion.

Si los cuerpos no son elásticos se comunica el movimiento en razon directa de las masas; verificándose una compresion en el punto de contacto, causada por la inercia.

Quando los cuerpos caminan en una misma direccion, hay despues del choque la misma cantidad de movimiento que habia ántes de él.

Quando los cuerpos van á chocarse en direccion contraria, perece el movimiento en todo ó en parte: si queda alguno despues del choque, no es mas que el exceso del mayor sobre el menor.

Si los cuerpos son elásticos, se comunica el mo-

Digitized by Google

vimiento del uno al otro, siguiendo las mismas leyes baxo las quales se comunica en los cuerpos sin elasticidad; pero con la diferencia de que en los cuerpos elásticos la elasticidad dobla el movimiento comunicado; y tambien la pérdida de movimiento que hace el cuerpo que comunica movimiento al otro.

Quando, despues del choque, van los cuerpos en una misma direccion, hay despues del choque la misma cantidad de movimiento que la que habia ántes de él; pero si el uno de los dos cuerpos retrocede, hay, despues del choque, mas movimiento que el que habia ántes de él: hay asimismo en el cuerpo chocado mas movimiento que el que habia en el cuerpo chocante; siendo este exceso igual á la cantidad de movimiento retrogrado del cuerpo chocante.

Quando los cuerpos van á chocarse en direccion contraria, la suma de los movimientos, despues del choque, no es nunca mayor que ántes de él: puede ser aun menor, en cuyo caso, es igual esta disminucion á la cantidad de movimiento que gana el uno de los dos cuerpos.

En todos los casos es la misma, ántes y despues del choque, la velocidad respectiva.

CAPÍTULO IV.

DE LAS LEYES DEL MOVIMIENTO COMPUESTO.

159 El movimiento compuesto (68) tiene sus leyes como el movimiento simple; y todas pueden referirse á una sola, de la que no son aquellas mas que unas conseqüencias. Véase esta ley.

Digitized by Google

Ley del movimiento compuesto.

160 *Quando un cuerpo es solicitado al movimiento por muchas potencias que obran á un mismo tiempo, y segun diferentes direcciones, ó queda en equilibrio, ó toma un movimiento que sigue la relacion de las potencias entre sí, en quanto á la velocidad, y recibe una direccion media entre las de las potencias á las quales obedece.*

Quando las potencias que obran juntas tienen direcciones diametralmente opuestas, una de dos, ó sus fuerzas son iguales ó desiguales: en el caso de igualdad el móvil queda en equilibrio: pero si las fuerzas de las potencias son desiguales, el móvil obedece á la mayor, no segun todo su valor, sino solamente segun el valor de su exceso sobre la otra; por destruir la mas débil en la otra una fuerza igual á la suya; luego no queda á la fuerza mayor mas que su exceso sobre la menor, para obrar sobre el móvil. Así, quando las potencias son directamente opuestas, resulta de ellas ó el reposo del móvil ó el movimiento simple, pero retardado. Pero si las potencias no se oponen sino obliqüamente, esto es, si sus direcciones se cruzan ó forman ángulo en el móvil, entónces se compone el movimiento en velocidad y en direccion.

Puede formarse el movimiento compuesto ó en línea recta, ó en línea curva. Veamos quales son las condiciones necesarias para uno y otro de estos movimientos.

Movimiento compuesto en línea recta.

161 Se forma siempre el movimiento compuesto en línea recta, quando obedece el móvil á unas po-

Digitized by Google

tencias que perseveran entre sí en la misma relacion; sea que ellas no reciban variacion alguna, sea que las variaciones sean iguales ó proporcionales de una y otra parte; porque entónces se reunirán en la misma direccion los efectos de cada instante. Supongamos pues constantes estas relaciones.

162 La velocidad y la direccion de un cuerpo que se mueve con movimiento compuesto, se miden por la diagonal de un paralelógramo, cuyos dos lados representan las potencias. Supongamos que el móvil *m* (*fig.* 14) se halle tirado á un mismo tiempo por dos fuerzas, representadas por las dos líneas *m f*, *m s*, que juntas forman ángulo en el móvil *m*: la diagonal *m z* del paralelógramo *m s z f*, del que las dos líneas *m f*, *m s* son dos lados, mide la velocidad, y determina la direccion que toma el móvil *m* en virtud de estas dos fuerzas. Porque supongamos que *m f* sea una regla movible, sobre la qual descienda el móvil *m* con una velocidad uniforme, de *m* á *f*, en seis instantes iguales; al mismo tiempo que la regla *m f* camina paralelamente á ella misma, con una velocidad uniforme, de *m* á *s*, en seis instantes iguales á los primeros: es claro, que al fin del primer instante habrá descendido el móvil hasta *a*, y la regla *m f* caminado hasta *b*; luego á este tiempo el punto *a* y el móvil *m*, que ya estará en él, se hallarán en el punto 1. Al fin del segundo instante habrá descendido hasta *b* el móvil *m*, y la regla *m f* caminado hasta *l*; luego el móvil, descendido á *b*, se hallará en el punto 2. Por la misma razon se hallará en 3 el móvil *m*, al fin del tercer instante; en 4 al fin del quarto instante; &c. En fin, pasados los seis instantes, se hallará en *z* el móvil *m*, despues de haber corrido sucesivamente todos los puntos de la diagonal *m z*; y habrá llegado, pero por un camino mas corto, al término

de las dos tendencias; á causa de que el móvil *m*, llegado á *z*, habrá descendido la cantidad *s z* igual á *m f*, y caminado la cantidad *f z* igual á *m s*.

163 Esta diagonal, que señala la velocidad del móvil, es mas ó ménos larga con potencias de un mismo valor; segun que las direcciones de estas potencias forman entre sí ángulos mas ó ménos agudos. Si el ángulo que forman es recto, ni se perjudican ni ayudan entre sí; y el móvil es conducido tan léjos como lo exíge cada una de las potencias. Así, el móvil *m* (*fig.* 15), debiendo obedecer á las dos potencias *m a*, *m b*, que forman entre sí el ángulo recto *a m b*, seguirá la diagonal *m c*. Pero si la potencia *m b* estuviese colocada en *m d*, y formase con la otra potencia el ángulo obtuso *a m d*, la diagonal que seguirá el móvil *m* será *m e*, mas corta que *m c*. Si se coloca al contrario, la potencia *m b* en *m f*, y forma con la potencia *m a* el ángulo agudo *a m f*, la diagonal que seguirá el móvil *m* será *m g*, mas larga que *m c*, y esta diagonal aumentará cada vez mas su longitud, si el ángulo que forman las direcciones de las potencias, va siendo cada vez mas agudo.

164 La diagonal, como lo hemos dicho mas arriba (162), determina tambien la direccion que tomará el móvil. Si las dos potencias son iguales, como *m f*, *m s* (*fig.* 14), está igualmente inclinada hácia la una y ácia la otra la diagonal *m z*, y forma á uno y otro lado, con la direccion de cada una de estas potencias, ángulos iguales. Pero si las potencias son desiguales, como *m a*, *m b* (*fig.* 15), está la diagonal mas inclinada háeia la mas grande de las dos potencias; y forma con la direccion de esta el ángulo *a m c* mas pequeño que el ángulo *c m b*, que forma con la direccion de la potencia menor.

Digitized by Google

165 De todo lo que acabamos de decir se sigue, que si se conoce el ángulo de direccion de las potencias y su grado de fuerza, será fácil conocer el efecto que deben producir sobre el móvil; es decir, su grado de velocidad, y la direccion que debe tomar; porque expresando el valor de las potencias y su direccion con líneas, por exemplo, con la *m a* y la *m d* (*fig.* 15), que se juntan en el punto *m*, y formando un paralelógramo sobre estas dos líneas, que representan dos lados de él, la diagonal *m e* dará lo que se busca.

166 Se sigue tambien, que si se conoce el efecto comun de dos potencias sobre un móvil, y la direccion y grado de fuerza de una de las dos, se podrá conocer el valor y la posicion de la otra. Si yo sé, por exemplo, que un móvil *m* (*fig.* 15) ha caminado de *m* á *g* en virtud de la accion de dos fuerzas, de las quales la una está expresada por *m a*, tiraré desde el punto *a* al punto *g* la línea *a g*, y quedaré seguro de que la otra potencia estará representada por una línea *m f*, tirada desde el punto *m*, paralela é igual á *a g*.

167 Para que el movimiento sea compuesto, no es necesario que continúen obrando las potencias en toda la duracion del movimiento. Dos fuerzas que impelan á un cuerpo (como, por exemplo, dos martillazos), y cuyas causas cesen de obrar inmediatamente, producen el mismo efecto, y componen el movimiento del móvil, como si sus acciones fuesen continuas. Esta es la causa de que, quando se arroja alguna cosa por la puertecilla de un coche que está en actual movimiento, no llegue jamas al sitio adonde la mano la dirige; por la razon de que á mas de la impulsion de la mano, hay tambien el movimiento del coche, que es comun al móvil y á la mano, y que forma una segunda potencia, cuya

Digitized by Google

direccion se cruza con la que la mano da al móvil; en virtud de lo qual debe seguir este la diagonal de un paralelógramo, del que representan dos lados estas dos potencias. Se sigue de aquí, que si se quiere salir por la puertecilla de un coche, cuyos caballos se hayan desbocado, y evitar el caer en algun charco ó lodazal pequeño que se halle debaxo, no hay medio mas seguro que el de arrojarse directamente á él.

Movimiento compuesto en línea curva.

168. Se forma siempre el movimiento compuesto, en línea recta, como hemos dicho mas arriba (161), quando el móvil obedece á potencias que perseveran entre sí en la misma relacion. No sucede lo mismo si varía esta relacion de las potencias: si, por exemplo, de dos potencias la una se hace, ó mayor, ó menor de lo que era ántes, en tanto que la otra no varía; ó si variando las dos no lo hacen proporcionalmente; en este caso, el producto de cada instante es con efecto una línea recta, por comenzar siempre todos los cuerpos á moverse así (74); pero cada una de estas líneas rectas tiene su direccion particular, que varía á cada instante segun la variacion de relacion de las potencias. Supongamos que el móvil *m* (*fig.* 16) sea impelido al movimiento á un mismo tiempo por dos potencias representadas con las dos líneas *m f*, *m 6*: que la potencia *m f* sea uniforme, esto es, que insista en hacer correr al móvil *m* espacios iguales en tiempos iguales, como *m a*, *a b*, *b c*, &c. y que la potencia *m 6* sea aceleratriz, es decir, que insista en hacer correr al móvil *m*, en tiempos iguales, espacios que aumenten de mas á mas, como *m* 1; 1, 2; 2, 3; &c. Si hacemos aquí aplicacion de lo que dexamos di-

cho arriba (162), veremos que el móvil *m* correrá en el primer instante la diagonal *m a'*; en el segundo la diagonal *a' b'*; en el tercero la diagonal *b' c'*; en el quarto la diagonal *c' d'*, &c. Pero cada una de estas diagonales tiene una direccion diferente de las que tienen las diagonales que la preceden; y si las tomamos infinitamente cortas, suponiendo los instantes infinitamente pequeños, la union de ellas formará la curva *m a' b' c' d' e' f'*. Tales son poco mas ó ménos los movimientos de todos los cuerpos graves arrojados fuera de la perpendicular al horizonte: como una piedra que se arroja con la mano, una bomba, una bala, &c. á los quales la impulsion que se les da es una fuerza cuya accion es, de su naturaleza, igual en todos los instantes; y su pesantéz es una potencia cuya accion aumenta de mas á mas (216). Luego los cuerpos arrojados describen una línea curva que sigue la naturaleza de la variacion de relacion de estas dos potencias.

169 No hay quien no esté convencido de la curvatura de esta línea, relativamente á la piedra y á la bomba; exemplos á que nos acabamos de remitir (168). No sucede lo mismo con la bala; de la qual se cree, que llega á su término por una línea recta; fundándolo en que la velocidad que se le comunica con la impulsion de la pólvora es infinitamente mas grande que la que procede de su pesantéz, de modo que desciende poco en comparacion de la cantidad que camina. Pero no se necesita mas que observar el modo con que un cañon está construido, para convencerse de que la bala llega al blanco con un movimiento verdaderamente compuesto. La bala está expuesta, como acabamos de decirlo, á la accion de dos potencias; una, la impulsion de la pólvora inflamada, y la otra su pesantéz: la primera es uniforme, y la otra aceleratriz. En el

Digitized by Google

instante en que la bala se halla fuera del cañon, no solamente camina en la direccion de la impulsion que ha recibido, sino que tambien obedece á la accion de su pesantéz, que es capaz de hacerle descender quince pies en el primer segundo, quarenta y cinco pies en el siguiente, &c. (216). Si el cañon fuera cilíndrico exteriormente, como lo es en su cavidad, la línea de la mira ó puntería seria paralela á la direccion que recibe la bala al salir; y como esta desciende en el instante en que se halla fuera, seria necesario dirigir el cañon hácia un punto mas elevado que aquel hácia adonde se quisiese tirar. La valuacion justa de la cantidad que seria necesario levantar el cañon para esto es muy dificil de averiguar; pero teniendo exteriormente el cañon una forma cónica, es mas grueso hácia la culata que hácia la boca; motivo por el qual se cruzan en el camino la línea de la puntería *a b* (*fig.* 17), y la de la verdadera direccion de la bala *d e*; formando en *c* un ángulo tanto mas abierto, quanto la diferencia entre el grueso que tiene el cañon hácia la culata, y la que tiene hácia la boca, es mas considerable. De modo que quando se cree dirigir la bala á *b*, se la dirige verdaderamente á *e*; y si la distancia que hay de *e* á *b* es igual á la cantidad que desciende la bala, durante el tiempo que está en el camino, llega al blanco ó término tan seguramente como si hubiese caminado por una línea perfectamente recta. Para esto es necesario que se tire á una distancia conveniente, para que se verifique que la impulsion de la pólvora sea proporcionada al peso de la bala; y que el ángulo *c*, formado por la línea de la puntería *a b*, y la verdadera direccion *d e* de la bala, que se puede mirar como la prolongacion del exe del cañon, esté en una buena proporcion; es decir, que el intervalo que hay entre

Digitized by Google

el punto *e* y el punto *b* sea de 15 pies á la distancia de 200 toesas, que es la que la bala corre en el primer segundo. En este caso el esfuerzo de la pesantéz hará que descienda la bala la cantidad *e b*, y se tocará ó herirá con un movimiento verdaderamente compuesto, en el blanco ó punto á que se habia dirigido la puntería. Todos los surtidores de agua, no perpendiculares al horizonte, describen curvas de esta especie; las quales tienen mas ó ménos amplitud, segun la velocidad del surtidor, que es la potencia que se combina con la de la pesantéz.

170 Esto mismo puede tambien servir para dar razon de un hecho que á primera vista parece singular, en términos que no esperariamos fuese tal, si no reflexionásemos sobre él. Quando un marinero cae de lo alto de una gavia, yendo el navio á la vela, cae al pie del palo, y no en el mar; aun quando en el mismo momento en que llega abaxo, se halle ya el navio bastante distante del sitio en que el marinero comenzó á caer; lo qual consiste en que cae por una línea curva, y no por una línea vertical. A la verdad que esta línea curva pareceria vertical á los que estuviesen en el navio, pero los que se hallasen en la ribera notarian bien su curvatura; porque aunque es cierto que la caida del marinero sería paralela al palo del navio, que es recto, los diferentes puntos del palo á que corresponderia el marinero al caer, se irian avanzando los unos á los otros en la direccion horizontal, y su continuacion formaria una línea curva, por hacerse la caida con una velocidad acelerada. Para bien entender esto, supongamos que *m* 6 (*fig.* 16) sea el árbol de un navio; que en *m* se halle colocado el marinero; y que 6 *f* sea el espacio que anda el navio en el tiempo que tarda en caer el marinero de *m* á 6. Ahora bien, el marinero tiene un movimiento ho-

Digitized by Google

rizontal comun con el palo, cuya velocidad es uniforme (57): en el instante en que se desprende su cuerpo de la gavia, le hace caer su pesantéz con una velocidad acelerada (58): quando por su caida haya llegado de *m* á 1, el punto 1 del mastil estará en *a'*; quando haya caido hasta 2, el punto 2 estará en *b'*; quando hasta 3, el punto 3 estará en *c'*, &c. de modo, que al fin de la caida, el punto 6 del mastil, y el marinero, habrán llegado á *f'*; y este último habrá caido por la línea curva *m a' b' c' d' e' f'*. Del mismo modo se podrá dar razon de todos los hechos análogos á este.

171 De todo lo que acabamos de decir se sigue, que el movimiento en línea curva no puede ser el efecto de una sola potencia; ni basta solo el que haya muchas que obren á un mismo tiempo, si no se verifica la variacion de relaciones entre ellas, sin lo qual se formará el movimiento en línea recta.

CAPITULO V.

DE LAS FUERZAS CENTRALES.

172 Todo lo que hemos dicho del movimiento y de sus leyes, prueba que no hay movimiento alguno que naturalmente esté dirigido en línea curva. Un cuerpo que se halle ya determinado á moverse, sea por una sola causa, sea por muchas que obren juntamente, se dirige, en virtud de la primera ley (74), á perseverar en este estado; el qual estado consiste en pasar el cuerpo de un término á otro por el camino mas corto, que es la línea recta. Luego quando vemos que un móvil describe una línea curva, debemos considerar el camino que anda como una

Digitized by Google

serie no interrumpida de movimientos en líneas rectas, todas muy cortas, y cuyas direcciones particulares varian á cada instante; formando entre ellas ángulos muy obtusos, como lo hemos hecho ver mas arriba (168). Se ha visto que esta serie de movimientos en líneas rectas no puede ser el efecto de una sola potencia; y que ni aun muchas bastan si no varian continuamente de relaciones entre sí (171). Pero estas relaciones pueden variar, no solamente en quanto á la intensidad ó fuerza, como acabamos de verlo; sino que pueden variar tambien en quanto á la direccion de las potencias. Baxo este último punto de vista, es baxo el qual vamos á considerar el movimiento en línea curva.

173 Supongamos que el móvil m' (*fig.* 18) esté impelido al movimiento por dos potencias $m'\ a$, $m'\ b$, cuyas direcciones formen entre sí un ángulo recto en el punto m', y de las que la fuerza de la primera sea á la fuerza de la segunda, como 3 es á 1. El movimiento compuesto de estas dos fuerzas comenzará por $m'\ i$, y continuará hácia l, m, g, sino varia nada en estas fuerzas: pero si estando impresa esta nueva direccion, la potencia que estaba en $m'\ b$ se encuentra colocada en $i\ c$, formando tambien ángulo recto con la nueva direccion $i\ g$, como le formaba ántes con la direccion $m'\ a$, el movimiento se compondrá de nuevo, y el móvil caminará de i á n: si á este tiempo se halla esta potencia colocada en $n\ d$ formando tambien ángulo recto con $n\ b$, el móvil se dirigirá de n á o: si continua sucediendo la misma cosa, caminará el móvil de o á r, despues á s, &c. de modo que continuando estas direcciones su variacion en estos términos, concluirian terminando en el punto m', despues de haber dado la vuelta entera. Lo que nosotros acabamos de suponer no es un caso metafísico: se encuentra real-

Digitized by Google

mente en el movimiento de una honda, ó de otro qualquier cuerpo á quien se hace dar vueltas colocándole al extremo de una cuerda; porque la mano que la tiene sujeta, pasando sucesivamente por los puntos *b*, *c*, *d*, *e*, &c. hace pasar la cuerda por las posiciones *m' b*, *i c*, *n d*, *o e*, &c.; y como esta cuerda queda siempre de una misma longitud, representa una potencia que no varia mas que en quanto á su posicion. Si nosotros consideramos estos elementos *m' i*, *i n*, *n o*, *o r*, &c. como infinitamente cortos, su continuacion formará una curva regular que será un círculo.

174 Todo cuerpo que circula lo hace pues en virtud de dos fuerzas: si la una de las dos cesase de obrar, el cuerpo cesaria de circular, porque no seria impelido mas que por una potencia; como, por exemplo, si la cuerda de una honda llegase á romperse quando se halla en *i c*, ó en *n d*, la piedra se escaparia por *i g*, ó por *n h*, líneas que se llaman *tangentes*. Luego todos los cuerpos que circulan hacen un continuo esfuerzo para no circular, pues que se escaparian, si estuviesen libres, por una tangente. Pero procurar escaparse por la tangente, ó hacer esfuerzo para alejarse del centro al rededor del qual circula el cuerpo, son dos expresiones que se pueden mirar como sinónimas; porque si el móvil *m'* llegado á *i*, en lugar de ir de *i* á *n*, continuase de *i* á *l*, á *m*, á *g*, se apartaria cada vez mas de los puntos *d*, *e*, &c. y por conseqüencia del centro de su circulacion. Luego todo cuerpo que circula recibe por esto mismo, inmediatamente que comienza á circular, una tendencia á alejarse del centro de su circulacion; y si esta tendencia no tiene su efecto, es por la razon de que este cuerpo está retenido ó impelido hácia este centro por una potencia contraria.

175 Estas dos fuerzas son las que producen el

Digitized by Google

movimiento en línea curva, y las que obran continuamente sobre el móvil, la una alejándole, y la otra acercándole al centro; á las quales se les da el nombre de *fuerzas centrales*; llamando á la primera, á fin de distinguir la una de la otra, *fuerza centrífuga*, y á la segunda *fuerza centrípeta*.

176 Estas dos fuerzas son directamente opuestas la una á la otra; porque aunque la fuerza centrífuga tenga su direccion por la tangente *b d* (*fig.* 19), y la direccion de la fuerza centrípeta sea segun la del radio *b c*, las quales forman juntas un ángulo recto, es no obstante cierto que el radio prolongado *c a* seria cortado, al dar vueltas, por la tangente *b d* en una série de puntos *e*, *f*, *d*, todos los quales van apartándose cada vez mas del centro *c*. Luego el cuerpo que huye por la tangente hace lo mismo que si se escapase realmente siguiendo la prolongacion del radio. Para asegurarse de esto hágase el experimento siguiente. Colóquese á la extremidad de una vara de madera *c g* (*fig.* 20), que pueda dar vueltas sobre el punto *c*, una linternilla quadrada *g a d*, con cristales en sus quatro lados: en el medio de ella póngase libremente una bola de acero *b*: hágase dar vueltas á la regla, y se verá que es el cristal *d* el que se rompe. Si la bola *b* no siguiese mas que la tangente *b f*, seria el cristal *a* el que se romperia; pero esto no sucede así, sino que es el cristal *d* el que se rompe, luego la bola *b* sigue la prolongacion *b e* del radio *c g*: á mas, este radio, al dar vueltas, tiene su prolongacion *b e* cortada sucesivamente en todos sus puntos por la tangente *b f*, luego la bola *b* al escaparse por la tangente *b f* sigue realmente la prolongacion *b e* del radio. Esta es la causa de que la cuerda de una honda permanezca tendida en tanto que se le hace dar vueltas, pues que la piedra que entónces trabaja por huirse

Digitized by Google

por la prolongacion de la cuerda, gravita contra el fondo de la honda. Luego la fuerza centrífuga se dirige á alejar al móvil directamente del centro, en tanto que la fuerza centrípeta se dirige directamente á acercarle.

177 Los planetas estan sujetos á estas dos fuerzas: su fuerza centrífuga, resultante de su movimiento de rotacion (174), se dirige en todos los instantes á apartarlos del centro de su movimiento; y su fuerza centrípeta, resultante de la gravitacion general (194), se dirige á acercarlos á él. De estas dos fuerzas opuestas nace un movimiento compuesto en línea curva, por el qual cada planeta describe su órbita, que es una curva relativa á la naturaleza de las fuerzas que le animan.

178 Las fuerzas centrales se verifican en todas las substancias ya sean sólidas, ya fluidas, siempre que su movimiento se hace en línea curva; esto es, que todas tienen una fuerza centrípeta resultante de su gravedad; y que todas adquieren una fuerza centrífuga luego que comienzan á moverse en línea curva (174). No se da excepcion alguna en esta doctrina. Hágase girar un cuerpo sólido qualquiera: si la fuerza que le retiene, ó le impele hácia el centro de su movimiento se debilita ó cesa de obrar, se le verá apartarse de este centro. Hágase del mismo modo girar al agua, y se observará que hace lo mismo, aun en una direccion opuesta á la de su gravedad, con tal que la fuerza centrífuga que ella adquiera por su movimiento de rotacion, sea superior al esfuerzo de su pesantez.

179 Consiguiente á este principio se han construido máquinas en las quales se han empleado diferentes medios para hacer girar al agua; y obligarla con esto á que adquiera una fuerza centrífuga capaz de elevarla á pesar de su gravedad. Se puede ver un

Digitized by Google

gran número de ellas en la obra *Recueil des machines de Ramelli*, y en la de *machines approuvées par l'Academie des sciences*, *tom. VI*, *pag.* 9 *et suivantes.* Baxo este mismo principio se han hecho fuelles de fragua. *Ibid. tom. V. pag.* 41 ; cribas, bielgos, &c. para limpiar el grano. *Desaguillers* (Trans. Phil. N. 437) hizo construir máquinas poco mas ó ménos semejantes á estas, y siempre baxo el mismo principio, para renovar el ayre de la habitacion de un enfermo, ó de los sitios que se hacen mal sanos por el gran número, ó por el mal estado de las personas que los ocupan, como las salas de espectáculos, las enfermerías, los hospitales, &c.

Tratemos ahora de los medios de apreciar el valor de las fuerzas centrales.

180 El valor de la fuerza centrípeta de un cuerpo que circula, ó la cantidad que este cuerpo se acercaria, en un tiempo dado, al centro de su revolucion, si su fuerza centrífuga cesase de obrar sobre él, es igual al quadrado de la porcion de la curva que él describe en el mismo tiempo, dividido por el diámetro de esta curva; porque *Huyghens* y *Newton* han demostrado (*de vi centrifuga*, *Huygh. Opera tom. II. et principes mathem. de la Philosophie naturelle*, *lib.* 1, *prop.* 4, *pag.* 54), que un cuerpo que hace su revolucion en un círculo, se acercará en un tiempo dado al centro de este círculo, por su sola fuerza centrípeta, una cantidad igual al quadrado del arco que él describe en el mismo tiempo, dividido por el diámetro del círculo [1]. De adonde se sigue que

[1] Figurémonos que el cuerpo *l* (*fig.* 21) corre la circunferencia del círculo *l c b a*, que supondremos tiene 110 pies, en 11 minutos segundos; su velocidad será igual á 110, que es el espacio, dividido por 11 que es el tiempo empleado en correrle; esto es,

Digitized by Google

este cuerpo llegaria al centro de su movimiento, en virtud de su sola fuerza centrípeta, en ménos tiem-

á 10: con que podremos decir que el cuerpo *l* corre la circunferencia *l c b a* con 10 grados de velocidad. Ahora, si la fuerza centrípeta de un cuerpo es igual al quadrado de su velocidad dividido por el diámetro, tendremos que la del cuerpo *l* será igual á 10^2 dividido 35 número de pies que suponemos tiene el diámetro *l b*, $= \frac{100}{35} = 2{,}85$.

Para demostrar esta proposicion, que debemos mirar como fundamental, supongamos que el cuerpo *l* corre el arco *l c* en un tiempo infinitamente pequeño, y que este arco es asimismo infinitamente pequeño: en virtud de esto podremos, sin que se padezca error sensible, considerar al arco *l c* como si fuese una línea recta; y en este caso tendremos el triángulo *l c b*, rectángulo en *c*, por tener este ángulo su vértice en la circunferencia, y pasar sus lados por los extremos del diámetro. Si ahora baxamos desde el vértice *c* una perpendicular al diámetro *l b*, tendremos el triángulo parcial *l c d*, rectángulo en *d*, y cuyos ángulos son iguales á los del triángulo total *l c b*; en virtud de lo qual resultará que el lado mayor ó hipotenusa *l b* del triángulo total *l c b*, es á su lado menor *l c* como el lado mayor, ó hipotenusa *l c* del triángulo parcial *l c d*, es á su lado menor *l d*: esto es, que *l b* : *l c* : : *l c* : *l d*; y $l\,d = \frac{\overline{l\,c}^2}{l\,b}$

Pues que en la proporcion que acabamos de enunciar, *l b* se halla en el primer término, *l c* en el segundo y tercero, y *l d* en el quarto, es evidente que se tendrá el justo valor de *l d* multiplicando *l c* por *l c*, es decir, tomando el quadrado de *l c*, y dividiéndole por *l b*: luego *l d* es igual al quadrado de *l c*, dividido por *l b*: pero *l c* expresa la velocidad del cuerpo, y *l d* su fuerza centrípeta, pues que *l c* señala el espacio corrido por el cuerpo *l*, y *l d* el espacio que correria este mismo cuerpo acercándose al centro *t*, si solo tuviese su fuerza centrípeta; luego la fuerza centrípeta de un cuerpo que describe un círculo, es igual al quadrado de la velocidad dividido por el diámetro de este círculo. *Nota del Traductor.*

Digitized by Google

po que el que necesitaria para correr los $\frac{9}{40}$ de su revolucion [1].

181 Para conocer el valor de la fuerza centrífuga, es preciso hacer atencion á tres cosas: 1.° á la masa del cuerpo que circula: 2.° á su distancia al centro de su revolucion: 3.° á su velocidad. Para medir esta velocidad hay que atender á dos cosas: 1.° á la magnitud de la revolucion: 2.° al tiempo empleado en hacerla. A este tiempo es á lo que se llama *tiempo periódico*; y la revolucion es la curva que describe el móvil, contando desde el punto de adonde parte hasta que se vuelve á encontrar en este mismo punto, despues de haber dado una vuelta entera. El valor de la fuerza centrífuga de un cuerpo que circula, está determinado por el producto de su masa maltiplicada por el quadrado de su veloci-

[1] Supongamos que la circunferencia *l c b a*, que anda el móvil *l*, tiene 40 pies, su diámetro será de 12,72 pies, y su radio, que en este caso representa la fuerza centrípeta del cuerpo *l*, es 6,36 pies: supongamos tambien que *f* represente la fuerza centrípeta, *v* la velocidad del cuerpo, y *d* el diámetro del círculo por donde se mueve; en virtud de lo dicho, de que la fuerza centrípeta es igual al quadrado de la velocidad dividido por el diámetro, tendremos la equacion $f = \frac{v^2}{d}$; y como aquí se nos da conocida la fuerza centrípeta que es el radio *l t* = 6,36 pies, y el diámetro *l b* = 12,72, tendremos que buscar el valor de v^2 igual en la equacion de arriba á *f d*, esto es $v^2 = f\,d$; y sustituyendo los valores de *f* y *d* en esta equacion, resultará que $v^2 = 6{,}36 \times 12{,}72$, y $v = \sqrt{6{,}36 \times 12{,}72} = 9$: que quiere decir que el cuerpo *l* llegará al centro *t* de su movimiento, en virtud de su sola fuerza centrípeta, en ménos tiempo que el que necesite para correr los $\frac{9}{40}$ de la circunferencia *l c b a*.

Nota del Traductor.

Digitized by Google

dad dividido por su distancia al centro de su circulacion [1]. Lo qual se puede expresar por la equacion siguiente: $F = \frac{M \cdot V^2}{D}$ llamando F á la fuerza centrífuga de este cuerpo, M á su masa, D á la distancia al centro de su circulacion, y V á su velocidad.

Ahora, si queremos comparar entre sí las fuerzas centrífugas de dos cuerpos, llamaremos *f* á la fuerza centrífuga del otro cuerpo; *m* á su masa; *d* á la distancia al centro de su circulacion; y *v* á su velocidad [2]. De la regla que acabamos de establecer (181), se pueden inferir los fenómenos siguientes.

182 1.° *Las fuerzas centrífugas de dos cuerpos que se mueven con la misma velocidad á iguales distancias del centro, son entre sí como las masas de estos cuerpos*; lo qual se expresa con esta fórmula, F : *f* :: M : *m*. [3] Esto es, que si una de estas dos masas es doble de la otra, la fuerza centrífuga

[1] Supongamos que la masa del cuerpo que gira sea igual á 4, su velocidad igual á 5, y su distancia al centro igual á 10: en este caso será la fuerza centrífuga igual á $\frac{4 \times 5^2}{10} = 10$. *Nota del Traductor.*

[2] Y tendremos la equacion $f = \frac{m\, v^2}{d}$; y formando proporcion con la del otro cuerpo $F = \frac{M\, V^2}{D}$, resultará $F : f :: \frac{M\, V^2}{D} : \frac{m\, v^2}{d}$; de cuya proporcion saldrá, multiplicando extremos y medios, la fórmula general de las fuerzas centrífugas, $\frac{F\, m\, v^2}{d} = \frac{f\, M\, V^2}{D}$. *Nota del Traductor.*

[3] Si en la fórmula $\frac{F\, m\, v^2}{d} = \frac{f\, M\, V^2}{D}$, puesta en la nota anterior, hacemos $v = V$, y $d = D$, quedará reducida á $F\, m = f\, M$; y en proporcion, F : *f* :: M : *m*. *Nota del Traductor.*

Digitized by Google

de esta masa es doble de la de la otra. Por esta causa puede acontecer que la fuerza centrípeta de un cuerpo sea el efecto de la fuerza centrífuga prevalente del otro que circula con él. El labrador nos da de esto un exemplo quando limpia el grano: circulando juntos en la criba el grano y las pajillas, y teniendo estas ménos masa que aquel, toman una fuerza centrífuga menor, por cuyo motivo tienen que dirigirse precisamente hácia el centro. Los cuerpos que flotan sobre un agua arremolinada, teniendo ménos masa que el agua que circula con ellos, pues que flotan sobre ella, tienen asimismo que dirigirse precisamente hácia el centro. Una embarcacion, en semejante caso, correria riesgo de sumergirse; por lo que se debe huir quanto se pueda de semejantes sitios.

183 2.° *Las fuerzas centrífugas de dos cuerpos iguales, que se mueven en tiempos periódicos iguales, á diferentes distancias del centro, son entre sí como estas distancias al centro*; lo qual se expresa por esta fórmula, F : *f* :: D : *d*. Esto es, que si una de estas distancias es dupla de la otra, el cuerpo que se mueve á esta distancia dupla tiene una velocidad dupla de la del otro [1]; el producto de su masa multiplicada por el quadrado de su velocidad será pues quadruplo de la del otro, y no tendrá mas que un divisor doble; luego el cociente que da

[1] Por la razon de que siendo los radios de los círculos como sus circunferencias, si el radio (que es la distancia al centro) es duplo, tambien lo será la circunferencia; y como el espacio que corre el cuerpo es propiamente esta circunferencia, se sigue, que siendo esta dupla de la que corre el otro cuerpo, ha de ser precisamente dupla su velocidad, por suponerse que ámbos cuerpos dan la vuelta entera en tiempos iguales. *Nota del Traductor.*

el valor de la fuerza centrífuga será duplo. [1]

184 3.° *Las fuerzas centrífugas de dos cuerpos cuyos tiempos periódicos son iguales, y cuyas masas estan en razon inversa de sus distancias al centro, son iguales entre sí*; lo que se puede expresar por esta fórmula, $F : f :: M\ D : m\ d$. Aquí la masa simple tiene una velocidad doble, pues que está á una distancia doble; luego su producto por el quadrado de su velocidad es duplo del de la otra masa; pero como tiene un divisor doble produce la igualdad de los resultados. [2]

[1] Supuesto que la velocidad del cuerpo que se halla á una distancia dupla de la del otro cuerpo, es tambien dupla, si en las dos equaciones (de adonde deduximos la fórmula general) $F = \frac{MV^2}{D}$, y $f = \frac{mv^2}{d}$, damos valor á la masa, velocidad y distancia al centro, haciendo á la primera $= 4$, á la segunda $= 3$, y á la tercera $= 4$, tendremos que la primera equacion será $F = \frac{4 \times 6^2}{8}$, por el supuesto de que en este cuerpo es dupla la distancia al centro, y por decontado lo es tambien la velocidad; y la segunda será $f = \frac{4 \times 3^2}{4}$; en virtud de lo qual será $F = \frac{4 \times 36}{8} = 18$, y $f = \frac{4 \times 9}{4} = 9$: en donde se ve que el valor de la fuerza centrífuga del cuerpo que se halla á distancia dupla del centro, es tambien duplo; y en general que la fuerza centrífuga de un cuerpo crece en razon directa de su distancia al centro. *Nota del Traductor.*

[2] Si en las dos equaciones $F = \frac{MV^2}{D}$, y $f = \frac{mv^2}{d}$, damos valor á las letras de los últimos miembros, haciendo á la masa $= 4$, á la velocidad $= 3$, y á la distancia al centro $= 4$; tendremos que en este caso la primera equacion será $F = \frac{2 \times 6^2}{4}$, por el supuesto de que siendo su masa subdupla, por exemplo, relativamente al otro cuerpo, debe ser dupla su distancia al centro, y por lo mismo do-

Digitized by Google

185 4.° *Las fuerzas centrífugas de dos cuerpos iguales, que se mueven á iguales distancias del centro con velocidades diferentes, son entre sí como los quadrados de estas velocidades*; lo que se expresa con esta fórmula $F : f :: V^2 : v^2$; aquí todo es igual de una y otra parte, excepto las velocidades, de las que los quadrados son los multiplicadores; luego las fuerzas centrífugas deben ser entre sí como los quadrados de estas velocidades. [1]

185 5.° *Las fuerzas centrífugas de dos cuerpos desiguales, que se mueven á iguales distancias del centro con velocidades diferentes, son entre sí como los productos de sus masas multiplicadas por el quadrado de sus velocidades*; lo que se expresa por esta fórmula $F : f :: M V^2 : m v^2$; pues que aquí son iguales los divisores, deben estar las fuerzas entre sí como estan entre ellos los productos de sus masas, multiplicadas por el quadrado de sus veloci-

ble su velocidad; y la segunda equacion será $f = \frac{4 \times 3^2}{2}$, por suponerse la masa de este cuerpo dupla de la del otro, y subdupla su distancia al centro. Mediante todo esto, será $F = \frac{2 \times 36}{4} = 18$, y $f = \frac{4 \times 9}{2} = 18$; en lo qual vemos, que por hallarse en razon inversa las masas de estos cuerpos con sus distancias al centro, supuesta la igualdad de los tiempos periódicos, son iguales sus fuerzas centrífugas. *Nota del Traductor.*

[1] Hagamos en la fórmula general $\frac{F m v^2}{d} = \frac{f M V^2}{D}$, $m = M$, y $d = D$, y quedará reducida á $F v^2 = f V^2$, que en proporcion dará, $F : f :: V^2 : v^2$. *Nota del Traductor.*

Digitized by Google

dades, ántes de ser divididos por la distancia al centro. [1]

187 6.° *Las fuerzas centrífugas de dos cuerpos iguales, que se mueven con velocidades iguales á diferentes distancias del centro, estan entre sí en razon inversa de estas distancias al centro*; es decir, que esta fuerza es mas grande en el cuerpo que circula á la menor distancia del centro. Lo qual se puede indicar con esta fórmula, $F : f :: d : D$; pues que aquí todo es igual por una y otra parte, excepto los divisores, es constante que quanto mayor sea el divisor, mas pequeño será el cociente; luego las fuerzas centrífugas que se expresan por los cocientes, deben estar en razon inversa de estos divisores, los quales son las distancias al centro. [2]

188 7.° *Las fuerzas centrífugas de dos cuerpos desiguales, que se mueven con velocidades iguales á diferentes distancias del centro, son entre sí como las masas de estos cuerpos multiplicadas por las distancias al centro el uno del otro*; esto es, que para tener esta relacion, se multiplica la masa de uno de estos cuerpos por la distancia al centro del otro: y vice versa; lo que se expresa con esta fórmula,

[1] Suponiendo iguales los divisores de los dos miembros de la fórmula general $\frac{F\,m\,v^2}{d} = \frac{f\,M\,V^2}{D}$, resultará que $F\,m\,v^2 = f\,M\,V^2$, y en proporcion $F : f :: M\,V^2 : m\,v^2$. *Nota del Traductor.*

[2] Siendo todo igual, excepto los divisores, en la fórmula general $\frac{F\,m\,v^2}{d} = \frac{f\,M\,V^2}{D}$, quedará reducida, si quitamos en uno y otro miembro los factores iguales, á esta equacion $\frac{F}{d} = \frac{f}{D}$; de la que haciendo desaparecer los denominadores, resultará $F\,D = f\,d$; y en proporcion, $F : f :: d : D$. *Nota del Traductor.*

Digitized by Google

$F : f :: M d : m D$; pues que las velocidades son iguales de una y otra parte, es claro que las masas son entre sí como los productos de estas masas multiplicadas por el quadrado de sus velocidades; luego es igual el dividir estos productos, ó simplemente las masas, por su distancia al centro; ó el multiplicar las masas por las distancias al centro el uno del otro. [1]

189 8.° *Las fuerzas centrífugas de dos cuerpos desiguales, que se mueven con velocidades desiguales á diferentes distancias del centro, son entre sí como los productos de las masas de estos cuerpos por el quadrado de sus velocidades propias, multiplicadas por las distancias al centro el uno del otro*; es decir, que para tener esta relacion, se busca el producto de la masa de uno de estos cuerpos por el quadrado de su velocidad propia, y se le multiplica por la distancia al centro del otro cuerpo, en lugar de dividirle por su propia distancia al centro; y vice versa; lo que se puede indicar con esta fórmula $F : f :: M V^2 d : m v^2 D$. Es fácil de convencerse, buscando el valor de la fuerza centrífuga de cada uno de estos cuerpos, por medio de la regla establecida arriba (181), que es tambien igual en este ca-

[1] Si en la fórmula general $\frac{F m v^2}{d} = \frac{f M V^2}{D}$, suponemos $v = V$, quedará la equacion $\frac{F m}{d} = \frac{f M}{D}$; y en proporcion $F : f :: \frac{M}{D} : \frac{m}{d}$; y quitando los denominadores tendremos $F : f :: M d : m D$; en donde se ve, 1.° que en este caso son las fuerzas directamente como las masas, é inversamente como las distancias al centro; y 2.° que lo mismo tiene en la razon última de la proporcion el efectuar la division que indican su antecedente y consequiente, que el multiplicar el numerador del uno por el denominador del otro, y vice versa. *Nota del Traductor.*

Digitized by Google

so el dividir estos productos cada uno por la propia distancia al centro de circulacion de cada uno de estos cuerpos, ó el multiplicarlos por las distancias al centro el uno del otro. [1]

190 Si las fuerzas centrales de un cuerpo se equilibran, es decir, si la fuerza centrípeta de un cuerpo se equilibra con la fuerza centrífuga de este mismo cuerpo, continuará girando este cuerpo sin acercarse ni alejarse del centro de su circulacion; y describirá un círculo.

191 Pero si varian las relaciones de estas fuerzas, como por exemplo, si la una de las dos llega á ser mayor ó menor que lo que era ántes, subsistiendo la misma la otra, describirá el cuerpo una curva que seguirá la naturaleza de estas variaciones de relaciones. Los movimientos de los cuerpos celestes se executan baxo estos principios, como lo veremos mas adelante (1758).

192 Si estas relaciones, una vez variadas, se restablecen ántes de concluida la revolucion, la curva que describirá el móvil, será una curva reen-

[1] Suponiendo que todo es desigual en la fórmula general $\frac{F\,m\,v^2}{d} = \frac{f\,M\,V^2}{D}$, tendremos la proporcion $F : f :: \frac{M\,V^2}{D} : \frac{m\,v^2}{d}$; y haciendo desaparecer los denominadores de la última razon, resultará $F : f :: M\,V^2\,d : m\,v^2\,D$. Lo que nos da á entender, 1.º que en este caso, estan las fuerzas en razon compuesta de las masas multiplicadas por los quadrados de las velocidades, y por las distancias al centro; pero con las dos primeras, esto es, con las masas y los quadrados de las velocidades, en razon directa, y con las últimas en razon inversa; y 2.º que los quocientes de las dos divisiones que indican los dos términos de la última razon, en la primera proporcion, son iguales á los productos de las dos multiplicaciones indicadas en los dos términos de la última razon, en la proporcion última. *Nota del Traductor.*

Digitized by Google

trante en sí misma : tal es , por exemplo , una elipse.

193 Pero si estas relaciones no se restablecen, como por exemplo , si la fuerza centrípeta va disminuyendo siempre , la curva no será reentrante en sí misma ; y el móvil , alejándose del centro de su movimiento , describirá espirales mas ó ménos regulares , segun el progreso de la disminucion de esta fuerza centrípeta.

CAPITULO VI.

DE LA GRAVEDAD Ó GRAVITACION DE LOS CUERPOS.

194 Se ha dado el nombre de *gravedad* ó de *gravitacion* á la fuerza con que todos los cuerpos se dirigen los unos hácia los otros. Tambien se ha llamado *atraccion* á esta fuerza. Todos los cuerpos de la naturaleza proceden entre sí como si se atraxesen mútuamente , ó como si estuviesen impelidos los unos hácia los otros por una potencia exterior ; y esta fuerza , qualquiera que sea , parece obrar en razon directa de las masas , y en razon inversa del quadrado de la distancia. Pero ¿ se atraen realmente los cuerpos los unos á los otros ? O ¿ se impelen los unos hácia los otros en virtud de una potencia exterior ? He aquí lo que se ignora completamente : no se ha hecho mas que suponer esta impulsion , sin que jamas se haya probado. La atraccion inherente en los cuerpos , como si obrasen fuera de ellos mismos y sin intermedio , es inconcebible. En efecto , el mismo *Newton* no consideró jamas la atraccion , como causa física de la gravedad de los cuerpos ; sino que solo se sirvió de esta palabra para enunciar el he-

Digitized by Google

cho, y no para dar razon de él, como lo dice él mismo en sus *Princ. mathem. de la Philosoph. nat. pag. 7. edition de Paris*, 1759. He aquí sus palabras: "Por lo demas, yo tomo aquí en el mismo sentido »las atracciones y las impulsiones aceleratrices y »motrices; y me sirvo indiferentemente de las pa»labras de *impulsion*, de *atraccion* y de *propension* »qualquiera, hácia un centro; porque yo considero »estas fuerzas matemáticamente, y no físicamente; »así, el lector puede abstenerse de creer que yo he »querido expresar con estas voces una especie de ac»cion, de causa, ó de razon física; y quando yo »digo que los centros atraen, quando hablo de sus »fuerzas, no debe pensar que he querido atribuir »fuerza alguna real á estos centros, que considero »como unos puntos matemáticos." Se sigue de aquí, que ignoramos aun qual es la causa física de la gravedad, no obstante haberse imaginado muchos sistemas para dar razon de ella. No hay sistema ninguno de estos que se halle apoyado en sólidos fundamentos; y contra el qual no se pueda hacer objeciones, á las que es imposible responder; por cuyo motivo no he querido incluírlos aquí; pues que esto no hubiera hecho mas que prolongar este artículo, sin darle claridad alguna. Si el lector quiere enterarse en ellos, los encontrará en las obras siguientes; á saber, en la de *Gassendi*, en *l' Essai de Physique* de *Musschenbroeck*, tom. I; en la de *Descartes* en sus *Principes*; en la de *De Moliéres*, en sus *Leçons de Physique*, y en los *Principes du Systéme des petits Tourbillons*, por de *Launay*, *chap X*; en la de *Bulfinger*, en una disertacion intitulada, *de Causa Gravitatis*; en la de *Huigbens*, al principio del primer volúmen de sus obras, baxo el título *de Causa Gravitatis*; en la de *Varignon*, en sus *Conjectures de Pesanteur*, 1691.; en la de

Digitized by Google

Perrault, en el primer volúmen de sus *Œuvres de Physique*; en la de *Villemot*, en su *Nouvelle Explication du Mouvement des Planetes*; en la de *Bernoulli*, en su *Nouvelle Physique celeste*, tom. III. de sus obras; y en la de *Newton*, en sus *Principes mathematiques de la Philosophie naturelle*, y en su *Traité d' Optique*.

195 Se podria decir que la gravedad es la misma cosa que la pensatez: sin embargo, hay esta diferencia, que *pesantez* no se dice nunca, mas que de la fuerza particular que hace que los cuerpos sublunares se dirijan hácia la tierra, y que *gravedad* se dice de la fuerza por la qual un cuerpo qualquiera se dirige hácia otro. Porque en el principio general del sistema Neutoniano es la gravedad una propiedad universal de la materia; de modo que por esta propiedad, no solamente un cuerpo se dirige hácia otro, sino que las partes de un mismo cuerpo se dirigen todas las unas hácia las otras; lo que puede probarse por un gran número de fenómenos. No recordarémos aquí mas que los mas simples y los mas comunes: por exemplo, la figura esférica que toman las gotas de agua, proviene en gran parte de una semejante fuerza; la misma razon media quando dos globulillos de mercurio se unen y se incorporan en uno solo, luego que llegan á tocarse, ó que estan muy cerca el uno del otro. Con respecto á la ley precisa de esta atraccion, no se ha determinado aun: todo lo que se sabe de cierto es que en alexándose del punto de contacto decrece mas que en la razon del quadrado de la distancia, y que, por conseqüencia, sigue otra ley que la de la gravedad. En efecto, si esta fuerza siguiese, lo mismo que la gravedad, la ley de la razon inversa del quadrado de la distancia, no seria casi mas grande en el punto de contacto que á una corta distancia de es-

te punto; porque *Newton* ha demostrado en sus *Principes mathematiques*, que si la atraccion de un cuerpo está en razon inversa del quadrado de la distancia, es finita esta atraccion en el punto de contacto; y que así no es casi mas grande en el punto de contacto que á una corta distancia de este punto. Al contrario, quando la atraccion decrece mas que en razon del quadrado de la distancia, por exemplo, en razon del cubo ó de otra potencia mayor que el quadrado, entónces, segun las demonstraciones de *Newton*, la atraccion es infinita en el punto de contacto, y finita á una muy corta distancia de este punto. Ahora, es cierto segun todos los experimentos, que la atraccion que es muy grande en el punto de contacto, se hace quasi insensible á una muy corta distancia de este punto; de adonde se sigue que la atraccion de que se trata decrece en razon de una potencia mas grande que el quadrado de la distancia: pero la experiencia no nos ha manifestado aun si la disminucion de esta fuerza sigue la razon del cubo, ó de otra potencia mayor.

196 Todos convienen en que no hay movimiento que naturalmente no se haga en línea recta; de modo que los cuerpos que en su movimiento describen líneas curvas, deben ser forzados á ello por alguna potencia que obra continuamente sobre los tales cuerpos. De adonde se sigue, que haciendo los planetas sus revoluciones por órbitas curvilíneas, es preciso que haya alguna potencia, cuya accion continua y constante no los permite apartarse de su órbita, ni describir líneas rectas; trabajando por acercarles al centro de su revolucion (177): á esta potencia pues, qualquiera que sea su causa, es á la que se ha dado el nombre de *gravedad*. En efecto, no podrian los planetas continuar describiendo su órbita, si no hubiese alguna fuerza que los retuviese, ó que

los impeliese hácia el centro de su revolucion (174): luego existe realmente esta fuerza llamada *gravedad*; pues aunque ignoremos la causa de ella, no debemos por esto dexar de admitirla.

197 Concluimos de todo esto que los planetas estan retenidos en sus órbitas por una potencia que obra continuamente sobre ellos: que esta potencia tiene su direccion hácia el centro de estas órbitas: que la eficacia de esta potencia aumenta á proporcion que el planeta se acerca al centro, y que disminuye á medida que se alexa de él; y últimamente, que aumenta en la misma proporcion que disminuye el quadrado de la distancia, y que disminuye como el quadrado de la distancia aumenta.

CAPÍTULO VII.

DE LA PESANTEZ DE LOS CUERPOS.

198 Se llama *pesantez* la fuerza con que todos los cuerpos sublunares se dirigen constantemente de un sitio elevado á uno baxo, en tanto que no se opone nada á su caida, ó que los obstáculos que se oponen no son suficientes para pararlos: en una palabra, se llama *pesantez* la fuerza con que los cuerpos se dirigen á descender por una línea perpendicular al punto de la superficie de la tierra á que ellos corresponden; y si no descienden por esta línea, es porque hay algun obstáculo que se opone á ello.

199 Parece que esta fuerza que hace descender á los cuerpos, es una conseqüencia de la gravitacion general que se observa en la naturaleza (194). Pero como no se sabe de cierto qual es la causa física de esta gravitacion, se ignora del mismo qual es la causa física de la pesantez. Todos los sistemas que han imaginado los físicos para dar razon de esto pue-

Digitized by Google

den reducirse á tres clases. Los unos miran la pesantez como una qualidad inherente y primordial de los cuerpos, como una ley general de la naturaleza que puede no tener otra causa mas que la sola voluntad del Criador. Es preciso confesar que por este medio se desvanecen todas las dificultades; pero no se podrá decir que se da con él una razon física de la pesantez. Otros pretenden que sea la pesantez el efecto de la impulsion de alguna materia muy sutil é invisible; pero ¿quál es esta materia? ¿cómo obra? ¿y por qué no impele á los cuerpos mas que en una direccion perpendicular al horizonte? Esto es únicamente quanto se puede decir acerca de esto, bien que imperfectamente, y á lo que se ha opuesto objeciones á que no se ha podido aun responder. Si el lector quiere formar juicio de estos sistemas, exâmine las obras que hemos citado arriba (194); y en ellas verá que no hay ninguno que presente, sobre la causa física de la pesantez, una explicacion que satisfaga, y que sea bien inteligible. Otros en fin dicen que la pesantez no es mas que un exemplo particular de la atraccion recíproca de los cuerpos. Pero esta accion de los cuerpos los unos sobre los otros, obrando como fuera de ellos mismos, sin intermedio, y á grandes distancias, es dificilísima de comprehender. *Descartes* creyó poder dar razon de la caida de los cuerpos, por medio de las fuerzas centrales. Pero si su idea fuera cierta se dirigirian los cuerpos, no al centro de la tierra, sino al exe, lo qual es contra la experiencia. *Huyghens* previó esta tendencia al exe, ántes que se hubiese hecho el experimento; en virtud de lo qual imaginó muchos turbillones moviéndose á un mismo tiempo; pero este gran número de turbillones hubiera ciertamente compuesto el movimiento; así su idea tiene tan poco mérito como la de *Descartes*. En 1728 propuso la Academia de

Digitized by Google

Ciencias por objeto de su premio, el averiguar qual era la causa de la caida de los cuerpos: *Bufinger*, de la Academia de Berlin, tuvo una idea media entre la de *Descartes* y la de *Huyghens*: no supuso mas que dos turbillones, que se cruzasen en ángulos rectos; é imaginó la máquina propia para hacer girar á un mismo tiempo, en dos diferentes direcciones, á un globo lleno de agua, y que contenia algunos cuerpos ligeros; pero estos se dirigiéron al exe de la principal rotacion, y no al centro. Esta misma idea, ocurrió ya á *Perrault*, de la Academia de Ciencias, en 1669 (*Hist. de l'Acad. tom. I. pag.* 101). En fin, hasta ahora no se ha dado explicacion ninguna que satisfaga acerca de la causa física de la pesantez: dexémonos pues de querer averiguar quál es esta causa, y ciñámonos al conocimiento de los efectos, que será de mayor satisfaccion, y al mismo tiempo mas útil.

Sucede freqüentemente que la pesantez obra sola sobre los cuerpos; en cuyo caso caen estos siguiendo las leyes que vamos á establecer. Otras veces obra la pesantez sobre los cuerpos conjuntamente con alguna otra potencia; lo que es causa de que el movimiento se componga. Vamos á tratar separadamente de estos dos puntos; exâminando, 1.° los fenómenos en que la pesantez obra sola sobre los cuerpos: 2.° los en que el movimiento se compone de la pesantez y de alguna otra potencia.

Fenómenos en donde la pesantez obra sola sobre los cuerpos.

200 No se deberá confundir estas dos voces *pesantez y peso*; pues que expresan dos cosas muy diferentes. La pesantez de un cuerpo es la fuerza que le excita á descender; y su peso es la suma de las

Digitized by Google

partes pesadas que estan contenidas baxo su volúmen. La pesantez pertenece igualmente á todas las partes de un mismo cuerpo; de cuya reunion ó separacion no se sigue el aumento ni la disminucion de esta fuerza; pero el peso de un cuerpo varía como la cantidad de materia que le compone. Se puede pues decir, que aunque un cuerpo pequeño tenga ménos peso que el que tiene un cuerpo grande, tiene no obstante tanta pesantez; porque el uno y el otro se dirigen de arriba abaxo con la misma velocidad.

201 Se debe considerar en la pesantez lo que se considera en todas las demas potencias; á saber, 1.° su direccion: 2.° su intensidad, esto es, la medida ó la cantidad de su accion sobre los cuerpos.

202 Su direccion es siempre perpendicular al horizonte. Tambien se expresa esta direccion como una tendencia al centro de la tierra; lo que seria precisamente la misma cosa si la tierra fuese esférica; porque entónces cada línea perpendicular á su superficie seria la prolongacion de un radio. Pero siendo la tierra un esféroide aplanado por los polos, las líneas perpendiculares á su superficie no terminan todas en el centro, sino que van á parar á diferentes puntos que componen un espacio al rededor del centro; pero como este espacio es muy pequeño, se puede, sin error sensible, mirar al centro de la tierra como al de los cuerpos graves.

203 Con respecto á la intensidad de la pesantez, ó á la medida de su accion sobre los cuerpos, hay muchas qüestiones que es preciso exâminar y resolver. Se necesita averiguar: 1.° si esta accion es una misma en todos los cuerpos, esto es, si se dirige á hacer descender á todos los cuerpos con la misma velocidad: 2.° si la medida de esta accion es una misma en todos los tiempos: 3.° si es una mis-

Digitized by Google

ma en todos los sitios: 4.° si varía en un mismo cuerpo: 5.° en el caso en que varie, si aumenta ó si disminuye; y 6.° en el uno y otro caso cómo se hacen estos progresos.

204 La experiencia nos manifiesta únicamente, al poco mas ó ménos, quanto es el espacio que corre un cuerpo en un tiempo dado, en virtud de su pesantez; por tener siempre que vencer este cuerpo obstáculos inseparables del estado natural; del mismo modo que los tienen que vencer los cuerpos que obedecen á otra qualquier potencia (75). La resistencia de los intermedios, que varía como sus densidades (76); la figura del cuerpo que cae (79, 80, 81); la relacion de su masa con su volúmen ó su densidad (24); y la porcion de su peso que pierde en el ayre (321); son otros tantos motivos que impiden el que se conozca con exâctitud la medida primitiva de la accion de la pesantez sobre los cuerpos. Se sabe solamente que en Paris, por exemplo, ó en sus cercanías, un cuerpo que tiene poco volúmen y mucha masa, como una bala de plomo, corre en el ayre libre cerca de 15 pies de Francia [1] en el primer segundo de su caida. No se tardará mucho en ver la razon que tenemos para expresar aquí todas estas circunstancias.

205 1.° La medida de la accion de la pesantez ¿es una misma en todos los cuerpos? se ha creido, durante mucho tiempo, que la pesantez y el peso eran sinónimos, y que los cuerpos tenian una tendencia á caer, tanto mas grande quanto mas masa tenian; lo qual parecia verosimil: en efecto, se veía siempre, como se ve en el dia, que un cuerpo poco denso, como una pluma, caía ménos apriesa que un cuerpo mas denso, como una piedra. Pero un mas

[1] El pie de Paris es al pie Castellano como 700000 es á 660434.

ó un ménos no decide la qüestion quando no es proporcional á la causa que se sospecha. *Galileo* fué el primero que midió este *ménos*; y habiendo encontrado que no correspondia á la diferencia de los pesos, imaginó que la pesantez obraba con igual fuerza sobre la pluma y sobre la piedra; y que la diferencia de su caida procedia únicamente de la resistencia del ayre, que se hace sentir mas sobre aquel de los dos cuerpos que tiene la menor masa (207). Este raciocinio estaba muy bien fundado, y se echa de ver su exáctitud si se hace caer algunos cuerpos en el vacío; pues entónces caen todos con la misma velocidad, por diversas que sean sus naturalezas. Luego la medida de la accion de la pesantez es una misma en todos los cuerpos; y la resistencia del ayre es la causa de la diferencia que se encuentra en la caida de ellos.

206 Se puede tambien valuar esta diferencia, y conocer la razon de ello. La cantidad de movimiento de los cuerpos se aprecia por su masa y su velocidad (63). Si miramos ahora, como en efecto lo debemos hacer, la pesantez como una fuerza que imprime una velocidad comun é igual á todos los cuerpos, las cantidades de movimiento de dos cuerpos que comienzan á caer, no pueden diferir entre sí mas que por la masa; debiendo ser proporcionales á ella. Supongamos pues una bola de plomo y otra de madera, de diámetros iguales, y que pesen la primera como 24, y la segunda como 2; ya que sus velocidades iniciales son iguales, las cantidades de movimiento, en el primer instante de su caida, serán como sus masas, esto es, 24 en el plomo, y 2 en la madera. Supongamos ahora que, durante la caida de estas bolas, la resistencia del ayre (que es igual para los dos cuerpos, por tener uno y otro el mismo volúmen y la misma figura) les quita á cada

Digitized by Google

uno un grado de movimiento; es claro que la bola de plomo no habrá perdido mas que $\frac{1}{24}$ del que tenia, y la de madera habrá perdido la mitad. Luego la disminucion de movimiento será mucho mas considerable en la madera que en el plomo, sin embargo de proceder estos dos efectos de una misma causa. He aquí porque los cuerpos caen en el ayre libre con tanta ménos velocidad quanta ménos masa tienen; en tanto que en el vacío caerian todos con una velocidad igual.

207 Se han hecho en grande experimentos sobre la caida directa de los cuerpos, tanto en Italia como en Francia, Inglaterra y Alemania, que prueban lo que acabamos de manifestar. Pero *Desaguilliers* ha hecho estos experimentos con mas ventaja que nadie, en la Torre de San Pablo de Londres; cuya elevacion es de 272 pies ingleses, que equivalen á 255 pies franceses. Dexó caer de esta altura dos bolas de $5\frac{1}{2}$ pulgadas de diámetro, de las quales la una pesaba 2610 granos, y la otra solo $137\frac{1}{2}$ granos: luego estaban sus masas, sobre corta diferencia, en la razon de 19 á 1. La mas pesada concluyó su caida en $6\frac{1}{2}$ segundos, y la caida de la otra duró cerca de 19 segundos. Luego, 1.° la velocidad de la caida no es proporcional á la masa; porque habiendo empleado la mas ligera 19 segundos en caer, debería la mas pesada haber caido en 1 segundo, y empleó $6\frac{1}{2}$. Luego, 2.° los cuerpos caen en el ayre libre, con tanta ménos velocidad quanto menor es su masa: porque la bola que empleó en el ayre libre $6\frac{1}{2}$ segundos en correr 255 pies franceses, hubiera, segun las leyes de la aceleracion que estableceremos mas adelante (216), corrido en el vacío durante este tiempo $633\frac{3}{4}$ pies: y he aquí pues $378\frac{3}{4}$ pies de ménos por la resistencia del ayre; y la bola que

Digitized by Google

empleó en el ayre libre 19 segundos en correr 255 pies, hubiera corrido en el vacío durante el mismo tiempo 5415 pies: he aquí pues 5160 pies de ménos por la misma resistencia del ayre. Luego esta resistencia del ayre produce sobre los cuerpos que caen, tanta mas detencion en su caida quanto ménos masa tienen (205). *Newton* ha confirmado este principio valiéndose para ello de las vibraciones de unas bolas suspendidas de hilos, y cuyos diámetros y pesos puso en diferentes relaciones: mas adelante haremos ver (258) que estas vibraciones son un efecto de la pesantez. Si dos bolas pues de un mismo diámetro, de un mismo peso, y suspendidas de hilos de iguales longitudes, hacen en un mismo ayre vibraciones semejantes en amplitud y en duracion, es claro que estan animadas por pesanteces iguales; y no se debe variar de parecer, si la diferencia que ocasiona la disminucion ó el aumento de peso, no sigue la relacion de las masas.

208. Por este principio se explica con facilidad la causa de que una misma materia caiga mas lentamente á medida que se la divide; por exemplo, de que un pedazo de madera reducido á birutas, caiga mucho mas lentamente que quando está entero: mediante su division adquiere esta madera mas superficie, de la que presenta mayor cantidad al intermedio resistente, quien por este motivo le causa mas detencion en su caida. Sin esta resistencia del ayre, que retarda y divide los cuerpos cuyas partes tienen entre sí poca adherencia, la caida de un vaso de agua seria tan temible como la de un pedazo de hielo, ó de una piedra del mismo peso. Esta es la razon de que el granizo caiga con mas velocidad que la lluvia, y de que cause algunos daños en los campos; y sin esta resistencia del ayre, que retarda la caida de los cuerpos, el granizo mas

Digitized by Google

pequeño seria capaz de matar á los hombres y á los animales, por la velocidad extrema de su caida.

209 2.° La medida de la accion de la pesantez es una misma en todos los tiempos, porque los cuerpos caen en el dia del mismo modo que caian ya ha muchos millares de años: luego no hay variacion alguna en este punto.

210 3.° La medida de la accion de la pesantez ¿es una misma en todos los sitios? mirando como centro de los graves el de la tierra, se ha sospechado que á diferentes distancias de este centro no es una misma la intensidad ó la medida de la accion de la pesantez: que esta obra con tanta ménos fuerza sobre los cuerpos, quanto estos se hallan mas apartados del centro de la tierra. Y queriendo conocer, por la experiencia, si esta sospecha estaba bien ó mal fundada, se han hecho experimentos relativos á la caida de los cuerpos á las mas grandes alturas y mayores profundidades que se ha podido proporcionar; pero no habiendo encontrado en estas caidas diferencia alguna sensible, se creyó ser uniforme la intensidad de la pesantez á todas estas distancias, hasta que se tuviéron razones para creer lo contrario: *Newton* es quien nos ha dado estas razones; asegurando, no solamente, que la pesantez obra tanto ménos sobre los cuerpos, quanto estos estan mas apartados del centro de la tierra; sino que además establece reglas para valuar esta disminucion. Nos dice este sabio filósofo, y en términos que se le debe dar crédito, que si la luna estuviese abandonada á su fuerza centrípeta, descenderia hácia la tierra corriendo cerca de 15 pies y 1 pulgada en el primer minuto de su caida. Este espacio es el que corren los cuerpos colocados hácia la superficie de la tierra, en virtud de su pesantez, en el primer segundo de su caida (204): y si ellos

Digitized by Google

cayesen libremente durante un minuto, prescindiendo de la resistencia del ayre, correrian 3600 veces este espacio, á causa de la aceleracion de su caida, de cuya doctrina hablaremos bien pronto (216). Luego un cuerpo que cayese de la luna hácia la tierra, caeria 3600 veces mas lentamente. Pero la luna está apartada cerca de 60 veces tanto del centro de la tierra, como los cuerpos que estan á su superficie lo estan de este mismo centro (1869); y 3600 es el quadrado de 60; luego se debe concluir de aquí con *Newton*, que la accion de la pesantéz sobre los cuerpos decrece como aumenta el quadrado de la distancia. En las obras del mismo *Newton* es en donde se hallan las pruebas de esta doctrina suya: pruebas que estan fundadas en conocimientos ciertos. (Véanse *sus Principes mathematiques de la Philosophie naturelle*, *tom. II. Prop. IV*, *pag.* 13. *edit. de Paris*, 1759). Este es poco mas ó ménos el medio que se debe emplear para juzgar de la cantidad de la accion de la pesantéz sobre los cuerpos á la altura de la luna, por la cantidad de la misma accion sobre los cuerpos que estan hácia la superficie de la tierra, suponiendo como lo ha hecho *Newton* (lo que es mas que probable) que la fuerza centrípeta de la luna, es la misma que la de los cuerpos terrestres. Supongamos que *t* (*fig.* 21) representa la tierra, *l* la luna, *l*, *a*, *b*, *c* la órbita de este planeta. Es cierto que la luna no circula al rededor de la tierra, mas que en conseqüencia de dos potencias que obran á un mismo tiempo sobre ella (174); la una su fuerza centrípeta, que la impele ó la atrae hácia la tierra, en la direccion del radio *l t* de su órbita; y la otra su fuerza centrífuga, resultante de su movimiento de circulacion (177), que la impele por la tangente *l f*. Es cierto tambien, como lo hemos dicho mas arriba (166), que

Digitized by Google

si un cuerpo obedece á un mismo tiempo á dos potencias, como *l d*, *l e*, se conoce la relacion de estas potencias por la diagonal *l c*, que este cuerpo describe. Supongamos pues que *l c* sea el arco de su órbita que la luna corre en un minuto; es claro que el seno verso *l d* de este arco, representa la cantidad que la luna descenderia hácia la tierra *t*, si no obedeciese mas que á su fuerza centrípeta. Pero vista la distancia de la luna á la tierra, y su velocidad media, *l d* se halla ser, segun *Newton*, de 15 pies 1 pulgada y $1\frac{4}{9}$ línea. Luego este espacio es poco mas ó ménos el que correria la luna durante un minuto, en virtud de su pesantez; porque la luna debe, en virtud de su fuerza centrípeta, acercarse á la tierra una cantidad igual al quadrado del arco que ella describe, dividido por el diámetro de su órbita. Ahora, el arco que describe la luna por un movimiento medio, durante un minuto, es de 30825 toesas, cuyo quadrado es 950180625, que dividido por el diámetro de la órbita que es 385895490 toesas, da por cociente 2,46 toesas que equivalen á 14 pies 9 pulgadas 3 líneas de Francia. Luego la intensidad de la fuerza de la pesantéz sobre los cuerpos es diferente á diferentes distancias del centro de la tierra, y decrece como aumenta el quadrado de la distancia.

211 No tenemos alturas bastante grandes para comprobar con experimentos esta teoría de la caida directa de los cuerpos; pero *Bouguer y la Condamine* han dado un equivalente de esto con el experimento que sigue: hiciéron obscilar un péndulo durante la revolucion de una estrella fixa: (haremos ver mas adelante (258) que estas obscilaciones son un efecto de la pesantéz) 1.° En lo baxo, 2.° en lo alto de una de las montañas del Perú; y midiéron la diferencia de las alturas perpendiculares de

Digitized by Google

estas dos estaciones. El número de vibraciones fué menor durante el mismo tiempo en la parte alta que en la baxa; y esta cantidad de ménos concuerda bastante bien con la teoría de *Newton.*

212 La intensidad de la pesantez debe tambien ser diferente en los diferentes climas de la tierra; á causa de que girando está sobre su exe, cada punto de su superficie, así como los cuerpos que estan colocados en ella, toman una fuerza centrífuga (174), que disminuye los efectos de la pesantez, por ser aquella opuesta á esta (176). Mas, esta fuerza centrífuga no disminuye los efectos de la pesantez igualmente por todas partes; por ser ella tanto mayor en cada uno de los cuerpos que circulan, quanto mas grandes son los círculos que ellos describen en un mismo tiempo (181), pues que tienen entónces mas velocidad. Ahora, los cuerpos que estan baxo el equador, ó cerca de él, describen círculos mas grandes que los cuerpos que se hallan hácia los polos: luego los efectos de la pesantez sobre ellos estan mas disminuidos; tanto mas quanto la fuerza centrífuga está directamente opuesta á la pesantez baxo el equador, y obliqüamente por todas las demas partes; y tanto mas obliqüamente, quanto mas inmediata se halla esta fuerza á los polos: porque supongamos que *a c b* (*fig.* 22) sea el exe sobre que gira la tierra; *d e* ó *g p* el diámetro de su equador. 1.°, El cuerpo que gira en *g* describe en 24 horas un círculo mas grande que el que describe el cuerpo que gira en *f*, el qual tiene por diámetro la línea *f n*, mas pequeña que *d e*. 2.° La fuerza centrífuga en *g* tiene su direccion por *g o*, prolongacion del radio *c g* (176), y la fuerza centrípeta tiene su direccion por *g c*: luego estas dos fuerzas estan directamente opuestas. Pero en *f*, la fuerza centrífuga tiene su direccion por *f l*, prolongacion del ra-

Digitized by Google

dio *m f*, tirado del centro *m* del círculo en que el cuerpo circula, y la fuerza centrípeta tiene su direccion por *f c*: luego estas dos fuerzas solo se hallan opuestas obliqüamente en este caso. Luego los cuerpos caen mas lentamente hácia el equador que hácia los polos. Esto es en efecto lo que se probó con el experimento hecho en la Cayena en 1672, por *Richer*. Observó este que un péndulo de una longitud conveniente para obscilar segundos en Paris, media en la Cayena tiempos mas largos: manifestaremos mas adelante (258) que el movimiento de obscilacion de un péndulo es un fecto de la pesantez. Este experimento ha sido repetido despues por muchos buenos observadores, entre otros por los Académicos que fuéron al Perú, y por los que han hecho el viage del Norte para las medidas relativas á la figura de la tierra; y siempre se ha probado con él, que los cuerpos caen mas lentamente hácia el equador que hácia los polos; y que esta detencion disminuye á proporcion de lo que aumenta la latitud del sitio.

213. Tambien se ha probado demonstrativamente, por medio de este mismo experimento, la rotacion de la tierra sobre su exe; siendo él igualmente el que ha hecho dudar de su esfericidad. Por la razon de que, pues que gira la tierra, adquieren sus diferentes partes fuerzas centrífugas (174), que no son iguales en toda su extension (212), por describir las partes que estan baxo el equador, un gran círculo en 24 horas; las que estan hácia los círculos polares, en igual tiempo, un círculo cuyo diámetro es mucho menor, y las que estan baxo los polos, no girando en modo alguno. *Huygbens* y *Newton* conociéron anticipadamente lo que manifiesta este experimento fundados en las leyes de la estática y y de las fuerzas centrales; pues que sospecháron que la

Digitized by Google

tierra no era esférica, sino un esferoide aplanado por los polos. Porque, dixéron estos sabios, para que los radios de la tierra *c g*, *c p* (*fig.* 22) que corresponden al equador, esten en equilibrio con los radios *c a*, *c b*, que corresponden á los polos, es preciso que los primeros sean mas largos que los otros en una cantidad proporcional á la disminucion de su gravedad, por la fuerza centrífuga; extendiendo su cálculo hasta llegar á determinar esta cantidad. Segun *Huyghens*, es el diámetro del equador al exe de la tierra como 578 es á 577; y segun *Newton* como 230 es á 229; razones que no estan muy distantes la una de la otra. La teoría de estos dos grandes hombres ha sido confirmada despues por los trabajos de los Académicos (de quienes acabamos de hablar (212)) que estuviéron los unos en el Perú y los otros en el Norte, para tomar la medida de un grado del meridiano en estos diferentes climas, á fin de conocer por él si la tierra era esférica ó no. En las obras de estos sabios es en donde se debe ver el por menor de sus operaciones, cuyos resultados solo es lo que presento aquí. El radio del equador de la tierra es de 3281013 toesas; la mitad de su exe es $3265752\frac{1}{2}$ toesas; la diferencia $15260\frac{1}{2}$ toesas, da el aplanamiento de la tierra hácia los polos. Esta diferencia es igual en el exe entero á 13 leguas comunes de Francia, de las de 25 al grado, mas 867 toesas: de adonde se sigue que el diámetro del equador es mas grande que el exe de la tierra en 13 leguas y cerca de $\frac{1}{3}$; lo qual da la relacion que hay entre el diámetro del equador y el exe, que es como 215 á 214, relacion á la que se acerca mucho la de *Newton*. (Véase *la magnitud y figura de la tierra*, obra que sirve de continuacion á las *Memorias de la Academia de las ciencias, para el año de* 1718). Se puede ver tambien las obras sobre el

Digitized by Google

mismo objeto, de los Académicos que estuviéron á este intento en el Perú y en el Norte.

214 4.° ¿Varía en un mismo cuerpo la medida de la accion de la pesantéz? Si se mide, como con efecto se debe hacer, esta cantidad de accion por la velocidad con que un cuerpo desciende, puede variar en un mismo cuerpo, segun se halle mas ó ménos caliente, segun la figura de este cuerpo, segun la relacion que haya entre su masa y su volúmen, &c.: todas las quales causas de variacion son accidentales; y se originan de la resistencia del intermedio (78) que el cuerpo se ve obligado á atravesar. Pero otra variacion que depende únicamente de la pesantéz, es la que padece un cuerpo en tanto que cae; cuya fuerza parece se halla en el móvil mismo; pues que obra sobre él en todos los instantes de su caida, tanto como ella ha obrado en el principio; de modo que le comunica á cada momento una nueva impulsion, de adonde nace un nuevo grado de velocidad. Luego un cuerpo que ha cedido á su pesantéz durante un segundo, tiene una velocidad actual mas grande que la que él hubiera tenido, si solo hubiera caido durante un medio segundo. Porque se sabe que un cuerpo que cae libremente, produce un choque tanto mayor, quanto de mayor altura cae; en cuyo caso, no puede aumentar la intensidad de este choque mas que por la velocidad; por suponerse una misma la masa, en virtud de ser uno mismo el cuerpo. Luego la velocidad de este cuerpo se aumenta á cada instante.

215 5.° Luego la intensidad de la pesantéz va aumentando siempre en un mismo cuerpo, durante su caida. Pero ¿quáles son las leyes con que se aumenta su velocidad? La experiencia prueba que este aumento de velocidad es proporcional á la altura de la caida, y no á su duracion. Hágase caer

diferentes cuerpos, de una misma figura, de alturas que esten entre sí en razon inversa de las masas de estos cuerpos, y todos producirán el mismo esfuerzo: luego todos ellos tienen cantidades iguales de movimiento (63); lo que no podria ser si las velocidades adquiridas al fin de cada caida no fuesen proporcionales á la altura de estas caidas. Luego, &c. Luego una gran masa, cayendo de ménos altura, puede producir el mismo esfuerzo que una masa menor cayendo de mayor altura; entre cuyos dos medios, de aumentar la masa, ó de aumentar la velocidad, se puede hacer la eleccion mas conveniente. Las mas veces suele ser ventajoso el substituir peso á la elevacion; que es lo que se hace para clavar estacas en el terreno, para forjar las anclas, para batir el hierro en las grandes fraguas, &c.

216 6.º Pues que la velocidad de un cuerpo que cae se aumenta en todos los instantes, ¿quál es pues á cada instante la progresion de este aumento de velocidad? La experiencia tambien es la que nos ha de instruir sobre este punto: veamos lo que nos enseña. Si se dexa caer libremente un cuerpo que tenga mucha masa y poco volúmen, á fin de que su movimiento tenga la menor pérdida posible por la resistencia del ayre, se verá que corre un espacio en el primer segundo de su caida, tres espacios en el segundo siguiente, cinco espacios en el tercer segundo, y así de seguida aumentando siempre dos espacios, iguales cada uno al espacio corrido en el primer segundo. De adonde se sigue, que la velocidad de un cuerpo que cae se aumenta á cada instante en la progresion arismética de los números impares, 1, 3, 5, 7, 9, &c. Se sigue tambien de aquí que la suma de los espacios corridos al fin de cada tiempo, es como el quadrado de los tiempos. Porque al fin del primer tiempo no hay mas que un espa-

Digitized by Google

cio corrido; y el quadrado de 1 es 1: al fin del segundo tiempo hay 4 espacios corridos, 1 en el primer tiempo, y 3 en el segundo; y el quadrado de 2 es 4: al fin del tercer tiempo hay 9 espacios corridos; y el quadrado de 3 es 9: al fin del quarto tiempo 16 espacios; y el quadrado de 4 es 16, &c. La verdadera causa de esta aceleracion, y segun esta ley, es la de que todo cuerpo que cae, en un tiempo dado, una cantidad determinada, tiene al fin de esta caida una velocidad adquirida, capaz de hacerle descender, en virtud solo de esta velocidad adquirida, é independientemente de la accion de la pesantéz, una cantidad doble del espacio que corrió en el primer tiempo. Supongamos un cuerpo que cae de la altura de 15 pies durante un segundo: al fin de esta caida tiene este cuerpo una velocidad adquirida capaz de hacerle caer de la altura de 30 pies durante el segundo siguiente; y como la pesantéz es una fuerza que reside en el mismo cuerpo, que obra continuamente sobre él, y tan fuertemente en todos los instantes de su caida como al principio (214), es preciso, por la accion de la pesantéz durante el segundo minuto segundo, añadir á los 30 pies un espacio de 15 pies, igual al espacio corrido en virtud de la pesantéz durante el primer segundo. He aquí pues corridos en el segundo minuto segundo 3 espacios, igual cada uno al espacio corrido durante el primer segundo. El mismo raciocinio se puede hacer con respecto á los segundos siguientes.

217 Lo que acabamos de decir no es una suposicion gratuita: el Doctor *Atwood* inventó un medio sencillo para probar con la experiencia que quando un cuerpo cae, en un tiempo dado, una cantidad determinada, si se hace de modo que cese de obrar la pesantéz sobre este cuerpo, continúa cayendo con una velocidad uniforme, y sin ninguna

Digitized by Google

aceleracion, corriendo en cada tiempo siguiente, igual al primero, un espacio doble del que corrió en el primer tiempo. Véase pues las partes que constituyen lo esencial de su instrumento. Una polea *a* (*fig.* 23.) de 7 pulgadas de diámetro, muy movible y suspendida de qualquier modo: dos cuerpos cilíndricos de metal *b*, *c*, perfectamente iguales entre sí en diámetro, y en peso: un cordon muy delgado *d e f*: un peso pequeño *g* de quatro dracmas, redondo y hecho apropósito para colocarle sobre el cuerpo *b*: otro peso *b*, largo, y cuyo peso sea perfectamente igual al del peso *g*: una regla graduada *k l*; y un anillo ó círculo de metal *i* que pueda asegurarse á la regla graduada, y que sea bastante ancho para dexar pasar libremente al cuerpo *b*. Hágase pasar por la polea *a* el cordon *d e f*; á cuyas extremidades se atarán los cuerpos *b*, *c*; los quales por ser iguales en peso quedarán en equilibrio. Para hacer que pierdan este equilibrio, y que descienda el cuerpo *b*, cárguesele con el peso *g*, y coloquese su parte inferior á la altura de *o*. Si se tiene una péndola que mida tiempos iguales apropiados á la caida de este cuerpo, al fin del primer tiempo, la parte inferior del cuerpo *b* se hallará en 1: al fin del segundo tiempo se hallará en 4: al fin del tercer tiempo se hallará en 9, &c.; siguiendo la progresion de los números impares enunciada arriba (216). Ahora, para hacer cesar la accion de la pesantéz sobre este cuerpo *b*, súbasele á la parte superior, y hágase de nuevo corresponder su parte inferior á *o*: cárguesele despues con el peso *b* en lugar del peso *g*, y déxesele caer. Al fin del primer tiempo, quando la parte inferior del cuerpo *b* corresponderá á 1, el peso *b*, que es de mayor longitud que el diámetro del círculo *i*, quedará sobre este círculo; lo qual quitará al cuerpo *b* su exceso de peso sobre el cuer-

Digitized by Google

po *c*, y hará cesar en él la accion de la pesantéz. Entónces el cuerpo *b* continuará moviéndose con una velocidad uniforme, corriendo en cada tiempo siguiente un espacio doble del que habrá corrido en el primer tiempo; de modo que al fin del primer tiempo corresponderá á 1 su parte inferior; al fin del segundo tiempo corresponderá á 3; al fin del tercer tiempo corresponderá á 5; al fin del quarto corresponderá á 7; al fin del quinto corresponderá á 9; &c.; en lugar de que si la pesantéz hubiese continuado obrando sobre el cuerpo *b*, hubiera este correspondido á 9 al fin del tercer tiempo (216).

218 Para entender bien todo esto, representémonos en líneas los tiempos y las velocidades adquiridas. Supongamos que la línea *a d* (*fig.* 24) represente tres tiempos iguales *a b*, *b c*, *c d*; cuyos tiempos, por cortos que sean, pueden estar divididos en tantos instantes como se querrá, por exemplo cada uno dividido en seis instantes, *a a'*, *a' c'*, *c' e'*, *e' g'*, *g' i'*, *i' b*, &c. Obrando la pesantéz en todos los instantes sobre el cuerpo que cae (214), le hará adquirir á cada instante una nueva velocidad. Representemos la velocidad adquirida al fin del primer instante con la línea *a' b'*, la velocidad adquirida al fin del segundo instante quedará representada por la línea *c' d'*, dupla de la línea *a' b'*, por ser el producto de una impulsion dos veces repetida. Por la misma razon estará representada la velocidad adquirida al fin del tercer instante, por la línea *e' f'*, &c; y en conseqüencia la velocidad adquirida al fin del sexto instante, por la línea *b e*, seis veces de tanta longitud como *a' b'*, como resultante de sus impulsiones sucesivas; y el triángulo *a b e* representará el espacio corrido durante el primer tiempo *a b*. Supongamos ahora que la pesantéz cese de obrar; continuará moviéndose el cuer-

Digitized by Google

po con su velocidad adquirida *b e*, y correrá durante el segundo tiempo *b c* dos espacios iguales al espacio corrido durante el primer tiempo *a b*. Porque para conocer el espacio corrido durante este segundo tiempo, en virtud de la velocidad adquirida, es preciso multiplicar esta velocidad *b e* por el tiempo *b c* (56); lo qual da el quadrado *b c f e*, que contiene dos triángulos *b c e*, *f e c*, iguales al triángulo *a b e*, que representa el espacio corrido durante el primer tiempo *a b*. Pero como la pesantéz obra en el segundo tiempo tanto como obró en el primero, es preciso añadir por la accion de la pesantéz, durante este segundo tiempo, el triángulo *f b e*; todo lo qual compondrá tres triángulos ó tres espacios iguales cada uno al espacio corrido, durante el primer tiempo. Del mismo modo se verá que durante el tercer tiempo *c d*, hay cinco espacios corridos; por la razon de hallarse, al fin del segundo tiempo, representada por *c b* la velocidad adquirida; en virtud de lo qual si se multiplica esta velocidad *c b* por el tiempo *c d*, se tendrá el paralelógramo *c d i b*, el qual contiene quatro triángulos que representan los espacios corridos en virtud de las velocidades adquiridas: añádase el triángulo *i b k* por la accion de la pesantéz durante este tercer tiempo, y se completará los cinco espacios corridos durante este tercer tiempo; y siguiendo así se encontrará siete espacios para el quarto tiempo, nueve para el quinto, &c.

219 Se sigue de aquí, que un cuerpo que ha caido de una cierta altura, durante muchos instantes, tiene al fin de su caida una velocidad adquirida capaz de hacerle subir, durante el mismo número de instantes, tan alto como el punto de adonde ha descendido; siempre que alguna causa varie su direccion; por el motivo de que tiene, en virtud de esta

Digitized by Google

velocidad adquirida, una fuerza capaz de llevarle á un espacio doble que aquel que ha corrido (217); pero, como la accion de su pesantéz destruye al subir la mitad de esta fuerza, no puede elevarse mas que á una altura igual á aquella de adonde ha descendido. Luego al subir el cuerpo, se retarda esta velocidad, en virtud de la accion de la pesantéz, en la misma proporcion que aquella segun la qual se aceleró al caer; de modo que al subir corre este cuerpo espacios que siguen la misma progresion que aquella segun la qual los corrió al baxar, pero en un órden inverso. Si, por exemplo, duró su caida quatro instantes, habrá corrido un espacio en el primer instante, tres en el segundo, cinco en el tercero, y siete en el quarto (216). Si sube, correrá siete espacios en el primer instante, cinco en el segundo, tres en el tercero, y uno en el quarto. Pero del mismo modo que la resistencia del ayre quita una parte de la aceleracion de la pesantéz, en los cuerpos que descienden (207), así tambien la añade en su retardacion en los cuerpos que suben. Esta es la razon que hay para que jamas pueda subir á tanta altura como aquella de adonde descendió, un cuerpo elástico, que cae sobre otro cuerpo elástico; tal como una bola de marfil ó de acero, que cae sobre un plano de mármol, por perfectos que sean sus resortes.

De todo lo que acabamos de decir, relativamente á la accion de la pesantéz, se sigue:

220 1.° Que la fuerza que hace caer á los cuerpos es siempre uniforme, y que obra sobre ellos con igualdad en cada instante (214).

221 2.° Que los cuerpos caen hácia la tierra con una velocidad uniformemente acelerada (216).

222 3.° Que sus velocidades son como los ins-

Digitized by Google

tantes de su caida (218).

223 4.° Que los espacios que corren en cada instante de su caida, siguen la progresion arismética de los números impares 1, 3, 5, 7, &c. (216).

224 5.° Que los espacios que corren en el tiempo que tardan en caer, son como los quadrados de los tiempos, ó como los quadrados de las velocidades; y que por conseqüencia las velocidades y los tiempos estan en razon subdupla de los espacios (216).

225 6.° Que el espacio que un cuerpo corre al caer, durante un tiempo qualquiera, es la mitad de aquel que correria durante el mismo tiempo con una velocidad uniforme, en virtud de la velocidad adquirida; y que por conseqüencia es igual este espacio á aquel que correria el cuerpo con una velocidad uniforme, en virtud de la mitad de esta velocidad (217).

226 7.° Que la fuerza que hace caer á los cuerpos hácia la tierra, es la única causa de su peso; por la razon de que obrando esta fuerza á cada instante (214), obra desde luego sobre los cuerpos, sea que esten en reposo, sea que esten en movimiento; siendo pues á los esfuerzos que estos cuerpos hacen sin cesar, para obedecer á esta fuerza, á lo que se debe la causa de que pesen sobre los obstáculos que los detienen.

227 Como el ayre resiste al movimiento de los cuerpos, y tanto mas, quanto estos le hieren con mas velocidad (83), resulta de esto que quando un cuerpo, al caer, ha adquirido por aceleracion (216) un grado de velocidad que hace que hiera al fluido tan apriesa como puede ceder, poniéndole por conseqüencia en equilibrio con el intermedio resistente, continúa moviéndose el cuerpo por el intermedio, pe-

Digitized by Google

ro con una velocidad uniforme, y sin ninguna nueva aceleracion. Los cuerpos que caen, llegan tanto mas tarde á esta uniformidad de velocidad, quanto menor es la densidad del intermedio, ó quanto ménos volúmen y mas masa tienen (208). Esta es la causa de que el granizo llegue mas tarde que la lluvia á esta uniformidad de velocidad, y la lluvia mas tarde que la nieve. Sin estas retardaciones, la violencia con que caeria la lluvia desolaria los campos; y el menor granizo seria sumamente temible á causa de la velocidad de su caida.

Fenómenos en los que el movimiento está compuesto de la pesantéz y de alguna otra potencia.

228 La pesantéz es una potencia cuya direccion (202) é intensidad (202 y *siguientes*) acabamos de ver. Si se conocen las otras fuerzas que obran conjuntamente con ella sobre los cuerpos, se juzgará fácilmente de los resultados; pues que estos serán siempre conformes á las leyes del movimiento compuesto que hemos establecido arriba (160 y *siguientes*). Luego no tendremos que hacer aquí otra cosa mas que aplicaciones de los principios del movimiento compuesto.

229 Quando un cuerpo no obedece completamente á su pesantéz, es por la razon de que se halla detenido por algun obstáculo, ó tirado por alguna fuerza activa que obra en otra direccion diversa de la de su pesantéz. Si el obstáculo está directamente opuesto á esta pesantéz, y es invencible á ella, tal como lo seria un plano horizontal sobre el qual estuviese puesto el cuerpo, ó una cuerda que le tuviese atado á un punto fixo, se halla entónces el cuerpo entre dos potencias iguales y opuestas; á saber, de una parte la accion de su pesantéz, y de

Digitized by Google

otra la reaccion del punto fixo, ó del plano sobre el qual insiste; y el cuerpo queda en reposo. Pero si el obstáculo puede ceder á la pesantéz, tenemos entónces el caso de dos fuerzas, de las quales la una obedece á la otra, segun el valor de su exceso; y el movimiento queda simple, pero retardado (160), como sucede quando los cuerpos pesados atraviesan, al caer, intermedios resistentes (207).

230 Si el obstáculo no se opone á la pesantéz mas que obliqüamente; tal como seria v. g. un plano inclinado, ó un hilo de suspension, ó bien una fuerza activa, ó proyectil, que arrojase al cuerpo en una direccion diferente de la perpendicular al horizonte; entónces se compone el movimiento, de esta fuerza y de la pesantéz.

Caida de los cuerpos por los planos inclinados.

231 Supongamos primeramente un plano inclinado, cuya superficie es aquella que no se halla, ni en la situacion vertical, como *a c* (*fig.* 25), ni en la horizontal, como *c d*; sino que, como la línea *a d*, forma un triángulo con las dos primeras líneas, vertical y horizontal. Este plano es tanto ménos inclinado, quanto mas se eleva sobre el plano horizontal, ó lo que viene á ser lo mismo, quanto la línea *a c* es mas larga comparativamente á la línea *c d*. Supongamos que *a c* sea el espacio que el cuerpo *a* correria en dos tiempos, cayendo libremente, y por una caida directa y perpendicular: en el primer tiempo correria el espacio *a b*, y en el segundo el *b c*, tres veces de tanta longitud cono *a b*, segun las leyes de la aceleracion establecidas arriba (216). Pero si á este cuerpo *a* se le obliga á seguir el plano inclinado *a d*, procede precisamente como lo haria si no habiendo plano alguno sólido *a d* que le sostu-

Digitized by Google

viese, estuviese tirado en el primer tiempo por una fuerza *a f*, en una direccion perpendicular al plano inclinado *a d*, la qual fuerza continuase en seguida formando en todos los instantes ángulos iguales con la direccion de la pesantéz, y que no hiciese mas que variar de intensidad en la misma proporcion que lo hace la misma pesantéz. En el primer tiempo, el cuerpo *a*, que en virtud de su pesantéz descenderia de *a* á *b*, y que en virtud de la fuerza que hemos supuesto, iria de *a* á *f*, seguiria la línea *a e* diagonal del paralelógramo *a b e f*, del qual representan dos lados las dos potencias *a b*, *a f* (162): luego este cuerpo descenderia mucho ménos de lo que hubiera descendido si solo hubiese seguido la impulsion de su pesantéz, pues que descenderia la cantidad *a i*, en lugar de la cantidad *a b*. En quanto al segundo tiempo, como las fuerzas tienen tres veces tanta intensidad como en el primer tiempo, es preciso representar la pesantéz por *e g* tres veces tan larga como *a b*, y la otra fuerza por *e h* de una longitud tripla á la de *a f*; lo qual da para el segundo tiempo la diagonal *e k*, tres veces tan larga como *a e*. Con respecto al tercer tiempo, estando las fuerzas representadas por *k l* y *k m*, la diagonal será *k n* cinco veces tan larga como *a e*; y en quanto al quarto tiempo será la diagonal *n d*, siete veces tan larga como *a e*, &c.

De estos principios se sigue:

232 1.° Que un cuerpo no cae jamas tan aprisa por un plano inclinado como por la línea vertical, que es su direccion natural; porque si descendiese por la línea vertical *a c*, llegaria en dos tiempos al punto *c*; en lugar de que siguiendo el plano inclinado *a d* tarda quatro tiempos en llegar á *d* (231), punto que se halla en la misma línea horizontal que el punto *c*.

Digitized by Google

233 2.° Que aunque los efectos de la pesantéz sean retardados por los planos inclinados, sin embargo la caida de los cuerpos por estos planos, es acelerada segun las mismas leyes y proporciones (216), que quando la pesantéz obra sola y con libertad (231); porque la línea *e k*, que se ha corrido en el segundo tiempo, tiene una longitud tripla de la línea *a e*, corrida en el primer tiempo; y la línea *k n* corrida en el tercero, es cinco veces tan larga como *a e*, &c.

234 3.° Que la duracion de la caida por el plano inclinado es mayor que la de la caida por la línea vertical, en la misma cantidad en que este plano *a d* excede en longitud á la línea vertical *a c*; porque *a d*, longitud del plano, es dupla en longitud á *a e*, altura del mismo plano; y hemos dicho (231), que el cuerpo que no emplearia mas que dos tiempos en correr *a c*, emplearia quatro en correr *a d*. De adonde se sigue en general, que *la duracion de la caida de un cuerpo por un plano inclinado qualquiera, es á la duracion de la caida por la vertical de este plano, como la longitud del plano es á su altura.*

235 4.° Que quanto mas inclinado al horizonte está el plano, mas retardada es la caida; porque entónces excede mucho la longitud del plano á su altura; y si este plano llegara á ser horizontal, corriéndole el cuerpo de una parte á otra, no caeria en modo alguno; y su caida seria nula.

236 Un cuerpo á quien se obliga á seguir un plano inclinado, no se dirige á caer con toda su pesantéz absoluta, como lo haria si cayese libremente por una línea vertical; sino solamente con su pesantéz respectiva, esto es, con la porcion del esfuerzo de su pesantéz, á quien no vence el plano inclinado. Y la pesantéz respectiva de un mismo cuer-

Digitized by Google

po varía segun la inclinacion del plano que está obligado á seguir.

De adonde se sigue:

237 1.° Que si se toma por seno total la longitud *a d* del plano, su altura *a c* será el seno del ángulo de inclinacion *a d c*; luego la pesantéz absoluta del cuerpo *a*, á quien se obliga á seguir este plano inclinado, es á su pesantéz respectiva, como el seno total es al seno del ángulo de inclinacion.

238 2.° Que las pesanteces respectivas de un mismo cuerpo, sobre diferentes planos inclinados, son la una á la otra como los senos de los ángulos de inclinacion.

239 3.° Que quanto mas grande es el ángulo de inclinacion, mas grande es tambien la pesantéz respectiva; porque entónces está ménos inclinado el plano, y sostiene ménos al cuerpo.

240 4.° Que en un plano vertical, en donde el ángulo de inclinacion es el mas grande, pues que está formado por una perpendicular, la pesantéz respectiva es igual á la pesantéz absoluta: y en un plano horizontal, en donde no hay inclinacion alguna, se destruye del todo la pesantéz respectiva, por sostener entónces el plano el peso entero del cuerpo.

241 El espacio corrido sobre un plano inclinado por un cuerpo pesado, en un tiempo dado, es al espacio que este cuerpo correria durante un tiempo igual, en un plano perpendicular, como la altura de este plano es á su longitud; y por consequencia como el seno del ángulo de inclinacion es al seno total (237).

242 Está la razon de esto en que la altura *a b* (*fig.* 26) de un plano inclinado es siempre media proporcional entre la longitud *a c* de este plano, y el

Digitized by Google

espacio *a d* que un cuerpo pesado correria sobre este plano durante un tiempo igual á aquel que necesitaria para caer perpendicularmente de la altura *a b* de este mismo plano. Porque si desde el ángulo recto *b* se tira una perpendicular *b d* sobre *a c*, se tendrá *a c* : *a b* :: *a b* : *a d*. Luego un cuerpo pesado, descendiendo por este plano inclinado, llegará desde *a* á *d*, en el mismo tiempo que empleará en caer perpendicularmente desde el punto *a* al punto *b*.

243 Esta es la razon de que, dado el espacio *a b* de la caida perpendicular, durante un tiempo determinado, segun la altura del plano, si se tira una perpendicular desde el punto *b*, término de esta caida, sobre *a c*, se tenga el espacio *a d* que debe ser corrido en el mismo tiempo, sobre el plano inclinado *a c*.

244 Por la misma razon, si se da el espacio *a d* corrido sobre el plano inclinado *a c*, durante un tiempo determinado, se encuentra el espacio *a b* que seria corrido perpendicularmente en el mismo tiempo, baxando desde el punto *d*, una perpendicular á *a c*, que encuentre al plano vertical en *b*.

245 De adonde se sigue que en el círculo *a d e f b g* (*fig.* 27), un cuerpo pesado descenderá por uno de qualquiera de los planos inclinados *a d*, *a e*, *a f*, ó *a g*, &c. en un tiempo igual al que necesitaria para caer por el diametro *a b*, suponiéndole perpendicular al plano horizontal *b i*. Por ser siempre este diámetro *a b* media proporcion al (242) entre el plano *a d*, por exemplo, y la longitud del plano inclinado *a l*, del que es parte el plano *a d*; ó entre el plano *a f* y la longitud del plano inclinado *a h*, del qual es parte el plano *a f*, &c.

246 Igualmente, si el diámetro *a b* de un círculo es perpendicular á la línea horizontal *b i*, un cuerpo pesado descenderia de un punto qualquiera,

Digitized by Google

d, *e*, *f* ó *g*, &c. de la circunferencia de este círculo, siguiendo los planos inclinados *d b*, *e b*, *f b*, ó *g b*, &c. en un tiempo igual al que tardaria en descender por el diámetro *a b*, puesto verticalmente; lo qual se deduce fácilmente del artículo precedente (245); pues que no hay ninguno de estos planos que no pueda tener su paralelo é igual tirado de la extremidad superior *a* del diámetro, hácia el otro lado; como, por exemplo, el plano *a g*, que es paralelo, é igual al plano *e b*.

247 De adonde se saca esta proposicion general: *que un cuerpo emplea, para descender obliqüamente por una cuerda qualquiera de un círculo, tanto tiempo como le seria preciso para caer por el diámetro entero de este mismo círculo, puesto verticalmente.* Por la razon de que todas estas líneas *a d*, *a e*, *a f*, *a g*, *d b*, *e b*, *f b*, *g b*, son otras tantas cuerdas de este círculo; y acabamos de ver (245 y 246) que un cuerpo pesado corre cada una de estas líneas en un tiempo igual al que emplearia en correr el diámetro *a b*, puesto verticalmente. A mas, toda línea tirada de una extremidad *b* del diámetro á un punto *d*, por exemplo, de la circunferencia, es perpendicular á la línea tirada de la otra extremidad *a* al mismo punto *d*; luego esta línea señala el término de la caida por el plano inclinado *a d* (243).

248 Se sigue tambien de aquí, que si consideramos la línea *a b*, como diámetro de un círculo, y tomamos esta línea por el producto de la caida perpendicular en un tiempo dado, pasará la circunferencia de este círculo por todas las extremidades *d*, *e*, *f*, *g*, &c. de todas las caidas obliqüas acabadas en el mismo tiempo. Este método, una vez conocido, es bastante sencillo para buscar sin detencion ninguna la relacion de las caidas obliqüas entre sí, como tambien con la caida perpendicular;

Digitized by Google

por no haber línea alguna que no se pueda considerar como el diámetro de un círculo.

249 Dado el espacio *a d* (*fig.* 26) corrido en un tiempo determinado, sobre un plano inclinado *a c*, si se quiere determinar el espacio que se correria en el mismo tiempo sobre otro plano inclinado; báxese del punto *d*, como hemos dicho mas arriba (244), una perpendicular *d b* que encuentre la vertical *a b*, en el punto *b*; y la longitud *a b* será el espacio que el cuerpo corra durante este mismo tiempo, cayendo perpendicularmente. Si del punto *b* se levanta una perpendicular *b e* sobre el plano *a f*, *a e* será la parte de este plano inclinado que el cuerpo correrá en el mismo tiempo que tardaria en caer perpendicularmente del punto *a* al punto *b*, y por consequëncia en el mismo tiempo en que correria la parte *a d* en el otro plano inclinado *a c*.

250 Así, pues que *a b* es á *a d* como el seno total *a c* es al seno *a b* del ángulo de inclinacion *c* (242), y que *a b* es á *a e* como el seno total *a f* es al seno *a b* del ángulo de inclinacion *f*, los espacios *a d*, *a e*, que el cuerpo corre en un mismo tiempo sobre diferentes planos inclinados, serán recíprocamente como las longitudes *a c*, *a f* de los planos de igual altura; esto es, que *a d* será á *a e* como á *f* es á *a c*. [1].

251 Las velocidades adquiridas en un mismo tiempo por las caidas de un cuerpo sobre diferentes planos inclinados, son como los espacios corridos en el mismo tiempo; y tambien son recíprocamente co-

[1] En el triángulo *a b c*, *a b* : *a d* :: *a c* : *a b*; y en el triángulo *a b f*, *a b* : *a e* :: *a f* : *a b*; la primera proporcion da $\overline{ab}^2 = ad \times ac$, y la segunda $\overline{ab}^2 = ae \times af$; de cuyas dos equaciones, por ser iguales los primeros miembros de ellas, resulta, $ad \times ac = ae \times af$; y en proporcion, *a d* : *a e* :: *a f* : *a c*. *Nota del Traductor.*

Digitized by Google

mo las longitudes *a c*, *a f* de los planos de igual altura; esto es, que la velocidad adquirida en la caida de un cuerpo por la línea *a d*, es á la velocidad adquirida en la caida del mismo cuerpo por la línea *a e*, como *a f* es á *a c*.

252 Si se comunica á un cuerpo una impulsion para hacerle subir siguiendo una direccion qualquiera, perpendicular ú obliqüa (supongamos que se verifique esto en un intermedio no resistente, ó hagamos abstraccion de la resistencia del intermedio), la velocidad de este cuerpo se retardará en virtud de su pesantéz, como se aceleraria si descendiese (216); y los espacios que correrá en tiempos iguales, decrecerán en un órden inverso, como los números impares 7, 5, 3, 1 (219); y quando se haya concluido la fuerza que se imprimió al cuerpo, descenderá este en virtud del esfuerzo de su pesantéz.

253 De adonde se sigue, que dado el tiempo que un cuerpo emplea en subir á una altura señalada, es fácil determinar el espacio corrido en cada instante por este cuerpo. Porque, suponiendo que este cuerpo descendiese de esta misma altura en el mismo tiempo, sería fácil encontrar qual era el espacio corrido en cada instante; pues tomando estos espacios en un órden inverso, serán los mismos que los que se buscan. Supongase v. g. que un cuerpo arrojado perpendicularmente sube á una altura de 240 pies durante el tiempo de 4 segundos; y que se busca quales son los espacios corridos en los diferentes tiempos de esta subida. Si el cuerpo hubiese descendido, el espacio corrido en el primer segundo hubiera sido 15 pies (204); en el segundo siguiente 45 pies; en el tercer segundo 75 pies; y en el quarto 105 pies (216). Por conseqüencia, será el espacio corrido al subir, en el primer segundo 105 pies; en el segundo siguiente 75 pies; en el terce-

Digitized by Google

ro 45 pies; y en el quarto 15 pies; á cuyo tiempo el cuerpo comenzará á descender de nuevo como se ha dicho arriba.

254 De aquí se sigue que un cuerpo que se eleva con una cierta velocidad, sube á una altura igual á aquella de donde seria preciso que cayese para adquirir, por la aceleracion de su caida (216), la velocidad inicial con que subió.

255 Luego, recíprocamente, un cuerpo que cae adquiere, por la aceleracion de su caida, una velocidad capaz de hacerle subir á la altura de adonde cayó; y como la velocidad de los cuerpos que caen obliqüamente, ó por planos inclinados, se acelera segun las mismas leyes y proporciones que quando obra sola la pesantéz (233), importa poco la direccion en que se pueda verificar la caida y el ascenso.

256 Así, aunque la velocidad de un cuerpo que desciende por un plano inclinado, sea siempre menor que la del mismo cuerpo que cayese perpendicularmente (232), es no obstante verdad (y la experiencia lo prueba) que á cada punto de su caida obliqüa, es igual su velocidad adquirida á la que tendria si cayese perpendicularmente de una altura semejante; no habiendo mas diferencia que la de que necesita mas tiempo para adquirir esta velocidad por una caida obliqüa, que por una caida perpendicular. Si un cuerpo desciende por el plano inclinado *a d* (*fig.* 28), ó sucesivamente por los tres planos diferentemente inclinados, *a b*, *b c*, *c d*, ó por el arco del círculo *a b c o d*, ó por la curva *m n o d*, tiene este cuerpo quando llega á *d*, una velocidad adquirida, igual á la que tendria si hubiese caido perpendicularmente de la altura *b d*; y esta velocidad es capaz de hacerle subir hasta *g*, altura igual á la de *b*, ó á la de *m* y *a*, puntos de adonde se supone partir el cuerpo (255). Es verdad que nece-

Digitized by Google

sita mas tiempo para adquirir esta velocidad; por caer mas apriesa por la línea vertical *b d* que por la curva *m n o d*; mas aprisa por esta curva que por el arco de círculo *a b c o d*; mas aprisa por este arco de círculo que por los tres planos diferentemente inclinados *a b*, *b c*, *c d*; y mas aprisa por estos tres planos que por el plano único *a d*, aunque este plano único sea un camino mas corto que los otros tres. Véase la razon de todo esto.

257 Si el cuerpo corre los tres planos inclinados *a b*, *b c*, *c d*, al correrlos, estará sostenido sucesivamente sobre unos planos tanto mas inclinados quanto mas se vaya acercando al término de su caida *d*; y es evidente, segun lo que hemos dicho arriba (235), que si el esfuerzo de la pesantéz fuese uniforme, emplearia mas tiempo en correr el plano *c d* que el que emplearia en correr el plano *a b*, por estar este primer plano mas inclinado que el otro. Pero á causa de la aceleracion de la caida (233), quando el cuerpo se encuentra en *c*, despues de haber corrido los dos planos *a b*, *b c*, tiene unas velocidades adquiridas que no tendria si comenzase á caer del punto *c*; velocidades que son tanto mayores, quanto mas pronto ha sido el principio de la caida. Este principio es tanto mas pronto, quanto ménos inclinado está el primer plano corrido, ó quanto mas agudo es el ángulo que forma con la vertical (235). Es fácil de ver por la figura, que el primer elemento del arco del círculo *a b c o d* forma con la vertical *a p* un ángulo mas agudo que el que forma con la misma vertical el plano inclinado *a b*; luego el principio de la caida es mas pronto por el arco que por el plano: he aquí porque el cuerpo cae mas aprisa por el arco *a b c o d*, que por los tres planos *a b*, *b c*, *c d*. Por la misma razon cae el cuerpo mas aprisa por los tres planos *a b*, *b c*,

Digitized by Google

c d, que por el plano único *a d*, aunque este último camino sea el mas corto; por formar el plano *a b* con la vertical *a p* un ángulo mas agudo que el que forma con la misma vertical el plano *a d*: esta es tambien la razon que hay para que el cuerpo caiga mas aprisa por la curva *m n o d*, que por el arco *a b c o d*; porque el primer elemento *m* de esta curva forma con la vertical *m r* un ángulo mas agudo que el que forma el primer elemento *a* del arco con la vertical *a p*. Esta curva *m n o d* se llama *cicloide*; famosa en la mecánica por el uso que hizo de ella *Huygbens*, quando aplicó la péndola á los relojes (266). Tambien se la llama la *curva del mas pronto descenso*. Se forma esta curva por la revolucion de un punto de la circunferencia de un círculo que se mueve sobre una línea recta.

Movimiento de obscilacion.

258 Lo que acabamos de decir nos conduce á hablar del movimiento de *obscilacion*; movimiento que se verifica en los cuerpos en virtud de su pesantéz.

Se llama *obscilacion ó vibracion de un pêndulo*, el movimiento de un cuerpo pesado, sujeto con un hilo ó una vara á un punto fixo, al rededor del qual describe un arco. Tal es el cuerpo *a* (*fig.* 29), sujeto al punto fixo *c*, por el hilo *c e*, y que describe el arco *b a d*. La verdadera causa de este movimiento es la pesantéz del cuerpo *a*; porque si se llevara este cuerpo de *a* á *b*, y se le abandonase á sí mismo, caeria en virtud de su pesantéz siguiendo la direccion *b b* perpendicular al horizonte (202); pero estando retenida por el hilo *c e* á una distancia siempre igual del punto *c*, no puede descender sino describiendo el arco *b a*. Quando ha llegado al pun-

Digitized by Google

to mas baxo *a*, ha adquirido, por la aceleracion de su caida, una velocidad igual á la que hubiera adquirido cayendo verticalmente de la altura *i a* (256), la qual velocidad es capaz de llevarle en un tiempo igual al de su caida, á una altura igual á aquella de adonde descendió (255); por lo qual llega hasta *d*, describiendo el arco *a d*, y retardándose su velocidad á cada instante en la misma proporcion que aquella en que se aceleró al caer (253). Llegado al punto *d*, ya no puede ir mas léjos, por haber consumido todo su movimiento (253); ni tampoco permanecer allí, por impelerle á descender su pesantéz; y como se encuentra en el mismo caso en que estaba al hallarse en el punto *b*, vuelve de *d* á *a*, y de *a* á *b*, y así de seguida en las obscilaciones siguientes. En términos que si este cuerpo no sufriese ninguna resistencia de parte del ayre (84), y no tuviese friccion ninguna en el punto de suspension *c* (96), seria perpetuo este movimiento; el qual no cesa mas que por estas causas; que, aunque accidentales, son no obstante inevitables en la naturaleza.

259 El cuerpo *a* suspendido del hilo *c e* en el punto *c*, al rededor del qual puede describir arcos mas ó ménos grandes, tales como *b d*, *f g*, &c. es á lo que se llama *péndulo*. El centro de gravedad del cuerpo *a*, que describe los arcos, se llama *centro de obscilacion*, y el punto fixo *c* se llama *centro de movimiento*.

260 Se distingue dos especies de péndulos, el simple y el compuesto. El péndulo simple seria aquel cuyo hilo de suspension no tuviese peso alguno, y del que el cuerpo pesado *a* no pesase mas que en un solo punto, llamado su centro de gravedad (259), como si, por exemplo, residiese todo su peso en el centro. El péndulo compuesto es aquel que pesa por

Digitized by Google

muchas partes; y este es el caso ordinario, pues que la varilla de suspension es las mas veces de metal: y aun quando fuese de madera ó de otra qualquier materia, siempre seria el mismo caso, por la razon de que siempre tendria algun peso. De aquí se debe concluir que todos nuestros péndulos son compuestos; mas sin embargo, la mayor parte de lo que tenemos que decir sobre ellos, debe entenderse del mas simple.

261 La duracion de cada vibracion de un péndulo se deduce de la longitud de este péndulo; esto es, del intervalo que hay entre su centro de movimiento y su centro de obscilacion (259). Porque ya hemos probado arriba (247) que un cuerpo emplea, para descender obliqüamente por una cuerda qualquiera de un círculo, un tiempo igual al que emplea para caer verticalmente por el diámetro entero de este mismo círculo. Pero un péndulo *c b* (*fig.* 29) desciende por el arco *b f a* (258), y no por la cuerda *b a*; y su caida por el arco es mas pronta que por la cuerda (256 y 257). Luego si siguiese la cuerda emplearia en hacer su media vibracion un tiempo igual al que necesitaria para caer verticalmente por el diámetro de un círculo, del que la longitud *c a* fuese el radio: pero hay una proporcion conocida entre la caida por el arco y la caida por la cuerda; la qual es, sobre muy corta diferencia, como 51 á 65, ó mas aproximadamente como 300 es á 393. Luego la misma proporcion hay entre la caida por el arco y la caida por el diámetro, el qual está determinado por la longitud del péndulo.

262 De aquí se sigue que un péndulo cuya longitud es constante, debe hacer todas sus vibraciones, grandes ó pequeñas, isócronas ó de una misma duracion, en un mismo lugar: luego este instrumento es el mas apropósito para medir tiempos iguales.

Digitized by Google

Galileo que fué el primero en hacer indagaciones sobre el movimiento del péndulo, se sirvió de él con mucha utilidad para sus observaciones y experimentos; lo que le proporcionó una exáctitud y precision que no hubiera logrado por otro camino sin mucho trabajo. La duracion de la media vibracion de un péndulo que obscila segundos en Paris y sus inmediaciones, es la misma que la de una caida perpendicular de 3 pies y 9 pulgadas, en los mismos sitios (216); y por conseqüencia la misma que la de la caida por una cuerda qualquiera de un círculo, de 3 pies y 9 pulgadas de diámetro (247). Sin embargo, el diámetro del círculo, cuyo arco describe éste péndulo de segundos, es de 6 pies 1 pulgada 5,2 líneas; por la razon de que un péndulo semejante debe tener en París por longitud 3 pies 8,6 líneas. Luego si este péndulo, en lugar de caer por el arco, cayese por la cuerda, la duracion de su media vibracion seria mayor en un medio segundo; siendo, como acabamos de decir (261), mas larga que por el arco en la proporcion de 65 á 51, ó de 393 á 300.

263 Si este péndulo fuese ó mas corto ó mas largo, la duracion de sus vibraciones seria del mismo modo ó mas corta ó mas larga, por corresponder este péndulo á una caida vertical, ó mas pequeña ó mas grande; mediante á que su longitud es siempre el radio del círculo cuyo diámetro mide la altura de esta caida vertical. Las duraciones de las vibraciones de péndulos de diferentes longitudes estan entre sí en razon subdupla de sus longitudes, ó en razon de las raices quadradas de estas longitudes, á causa de la aceleracion de la caida de los cuerpos; porque un cuerpo que cae, corre en el segundo instante un espacio triplo del que corrió en el primero (216). Esta es la razon de que, para que

Digitized by Google

un péndulo mida tiempos dobles, sea preciso darle una longitud quadrupla. Un péndulo cuya duracion de una vibracion es en París de 1 segundo, tiene por longitud 3 pies, 8,6 líneas: para que esta duracion sea de 2 segundos, es preciso darle una longitud de 12 pies 2 pulgadas 10,4 líneas. Tal es la longitud de la péndola del relox de la casa de Ayuntamiento de Paris. Y para que la duracion de una vibracion de un péndulo no sea mas que de un medio segundo, es preciso que su longitud sea la quarta parte de la del péndulo que obscila segundos; esto es, que esta longitud no sea mas que de 9 pulgadas 2,15 líneas. Tal es la longitud de las péndolas de los reloxes de medios segundos.

264 Esta longitud del péndulo de que acabamos de hablar, no es igual á la longitud total del instrumento llamado *péndulo*; sino á la distancia que hay entre su centro de obscilacion y su centro de movimiento (259). El centro de movimiento es el punto de suspension; y el centro de obscilacion es un punto que tomado en la línea de suspension de un péndulo compuesto, sea tal que, si toda la gravedad del péndulo, suponiéndole obscilando, se hallase reunida allí, se hagan las obscilaciones en un tiempo igual al que emplea este péndulo compuesto en hacer las suyas. En un péndulo semejante se encuentra este punto, en todos los casos, debaxo del centro de gravedad; y sus obscilaciones son siempre iguales en duracion á la de un péndulo simple (260), que tenga por longitud la distancia de este centro de obscilacion al punto de suspension ó centro de movimiento. Así, buscar el centro de obscilacion de un péndulo compuesto, es lo mismo que buscar la longitud del péndulo simple que hiciese sus vibraciones en el mismo tiempo que el péndulo compuesto. Para encontrar la longitud de este péndulo simple se puede ha-

Digitized by Google

cer uso de lo que hemos dicho arriba (261, 262 y 263). Si se quiere ver todo lo mejor que se ha hecho relativamente á la indagacion del centro de obscilacion, se hallará en una memoria de *Bernoulli*, de la Academia de Ciencias de Paris, y profesor en Basle, impresa entre las de la Academia en el año de 1703, pág. 78.

265 Hemos dicho arriba (262) que *Galileo* se sirvió con utilidad del péndulo para medir tiempos iguales; pero los medios de que se valió para hacer uso de él piden una exâctitud y un cuidado tal, que no es para todos el manejar con acierto este instrumento; en el qual es preciso reanimar el movimiento, que á cada instante se disminuye por la resistencia del ayre; y á mas, contar las vibraciones una despues de otra para tener la suma de ellas. *Huygbens* hizo del péndulo una aplicacion mas útil, y de la que todo el mundo puede aprovecharse, uniéndole á los reloxes para arreglar su movimiento. Esta clase de máquinas estan, como se sabe, animadas por un resorte, ó por un peso que pone en movimiento muchas ruedas; por medio de las quales corren las agujas las graduaciones de la muestra del relox. Para impedir la precipitacion de este movimiento se empleaba un moderador; cuyo mismo destino tiene tambien el volante en los reloxes de faltriquera. A este moderador imperfecto es pues al que *Huygbens* ha substituido la péndola, adaptándola á la pieza de escape, que es la que arregla el movimiento de todas las ruedas, á fin que sus vibraciones, cuya duracion es siempre igual (262), en tanto que su longitud permanece la misma, puedan rectificar las pequeñas irregularidades de la máquina.

266 Se echa de ver al instante, que las obscilaciones de un péndulo, que se hacen por arcos mas ó ménos grandes, aunque de un mismo cír-

Digitized by Google

culo, no son de una duracion perfectamente igual; pues las que se hacen en arcos grandes, emplean tiempos mas largos: las diferencias, á la verdad, son insensibles quando solo se las considera durante un tiempo corto, y un número pequeño de vibraciones; pero llegan á ser muy sensibles quando se acumulan durante un tiempo mas considerable; ó quando los arcos difieren sensiblemente en amplitud. Esto fué lo que empeñó á *Huygbens* á buscar una curva de obscilacion, en la qual fuese absolutamente indiferente el que el péndulo midiese arcos grandes ó pequeños; y mediante sus indagaciones, halló que la cicloyde tenia la propiedad que buscaba, en virtud de lo qual la substituyó al círculo. [1] Para esto hizo flexible la parte superior *c m* (*fig.* 30) de la vareta del péndulo *c a*, y colocó á cada lado del centro *c* del movimiento una porcion de cicloyde *c e*, y *c f*, de la que el círculo generador *b* tenia por diámetro la mitad de la longitud del péndulo *c a* igual á *l a* (257). Mediante esto, quando el péndulo hace sus obscilaciones, la parte flexible *c m* de su vareta se ciñe alternativamente sobre las dos porciones de cicloyde *c e* y *c f*; lo qual acerca el cuerpo *a* al centro *c* del movimiento, y le obliga á moverse en el arco de cicloyde *e a f*, y no en el arco de círculo *b a d*. Es la cicloyde una curva de una naturaleza tal, que un péndulo que se mueve por ella llega siempre en tiempos iguales al punto mas baxo *a*, qualquiera que sea la altura de donde comience á caer; de modo que todas sus vibraciones, grandes ó pequeñas, son perfectamente isócronas ó de igual duracion.

267 Esta invencion, aunque muy ingeniosa, no ha sido de mucho uso: la grande dificultad que hay

[1] *Histoire de l' Academie des Scienées, année 1700, pag.* 140.

Digitized by Google

en formar arcos cicloydiales bien exáctos, y el inconveniente de hacer flexible la parte superior de la vareta, ha sido la causa de que se haya abandonado tan prontamente; tanto mas, quanto se ha observado que el círculo y la cicloyde se confunden quasi en la parte inferior *g i*: de modo, que quando no se le obliga al péndulo á describir mas que arcos de una extension muy pequeña, es quasi lo mismo el precisarle á hacer sus obscilaciones, en un círculo que en la cicloyde: este es en efecto el partido que se ha tomado despues en la reloxería. Sin embargo, se debe confesar que estos arcos pequeños, por poco extensos que sean, no equivalen á los arcos de cicloyde; porque quando llegan á hacerse mas ó ménos extensos en un tiempo que en otro (lo que no dexa de suceder de quando en quando por una causa que ignoro), influye siempre esto en el movimiento de la máquina: quando estos arcos toman mas amplitud, el relox se atrasa siempre; y quando toman ménos se adelanta, aun quando el cuerpo que obscila no se eleve mas que un grado en virtud de su movimiento medio; luego sería preferible la cicloyde al círculo si no hubiese los inconvenientes de que acabamos de hablar.

268 Hemos dicho (262) que todas las vibraciones de un péndulo son de una duracion igual, siempre que su longitud sea una misma: es preciso añadir á esto la condicion de que estas vibraciones se hagan en un mismo sitio, ó por lo ménos en un lugar de una latitud semejante; pues que los péndulos caen tanto mas lentamente, quanto la latitud del lugar es menor; como lo hemos probado mas arriba (212), citando el experimento hecho en la Cayena por *Richer* en 1672. Luego para que muchos péndulos, colocados en diferentes lugares, midan todos tiempos iguales, es preciso que tengan mas longitud

Digitized by Google

hácia los polos que hácia el equador. *Véase* en el número 264 de que modo se debe medir esta longitud. Sé muy bien, que se puede objetar que el calor que reyna en la Cayena dilató el péndulo, y que por este motivo midió tiempos mas largos: no hay duda en que contribuye á ello este efecto del calor; pero no es suficiente; porque un péndulo que oscile segundos en Paris, será 1¼ línea mas largo cerca del equador; y la experiencia prueba que el calor del agua hirviendo (bien superior al que reyna en el ayre en la Cayena) no dilata mas que ½ de línea la vareta de un péndulo; luego es preciso que á la causa del calor se una otra causa, que no es otra mas que la fuerza centrífuga.

269 Un péndulo no puede medir tiempos iguales en un mismo sitio, á ménos que su longitud no permanezca constantemente la misma (263); pero el calor de que acabamos de hablar hace variar continuamente esta longitud. Todos los cuerpos varían de dimensiones en virtud del calor y del frio (1132); y lo mismo sucede á la vareta del péndulo, á quien el calor hace dilatar, y el frio comprimir. Se ha pensado para remediar este inconveniente, el oponer al calor la causa física de adonde procede el tal inconveniente; esto es, haciendo de modo que el mismo calor que hace dilatar la vareta del péndulo, haga tambien subir otro tanto el centro de oscilacion del mismo péndulo; á fin de que quede siempre la misma distancia entre este último punto y el centro de movimiento, ó el punto de suspension; pues que esta distancia es la que determina la longitud del péndulo (264). *Graham*, famoso reloxero de Londres, fué el primero á quien ocurrió esta idea, y que comenzó á ponerla en execucion, subtituyendo al platillo de la péndola un vaso cilíndrico quasi lleno de mercurio; cuya sustancia, como está sos-

Digitized by Google

tenida sobre el fondo del vaso, se enrarece hácia la parte superior de él, haciendo por este medio subir el centro de obscilacion, á proporcion que este mismo centro desciende por la prolongacion de la vareta. *Julian le Roy* en Paris, y *Hellicot* en Londres, hiciéron uso despues, con el mismo intento, de un medio mas cómodo. Empleáron ámbos á dos, aunque por diferentes procedimientos, el exceso de la prolongacion del cobre sobre el del acero, con un mismo grado de calor (1136); y esto es lo que se hace al presente en la reloxería. El modo mas simple y mas usado es el que sigue: la vareta *c b* (*fig.* 31), á cuyo extremo inferior está el cuerpo grave *o*, llamado lenteja, porque se le da ordinariamente esta forma, es de acero, y se compone de las dos piezas separadas *c a* y *a b*. La pieza superior *c a* está fixa á un bastidor compuesto de dos travesaños de laton *d f* y *e g*, y de dos varetas de acero *d e* y *f g*. La pieza inferior *a b* está sujeta, por medio de una llavecilla, al travesaño pequeño de laton *k b*, y corre libremente por un agujero hecho en el travesaño inferior *e g*: *k l* y *b i* son dos varetas de laton, aseguradas sobre el travesaño inferior *e g*, y cuyas extremidades superiores se aplican por debaxo del travesaño *k b*. Si el calor llega á enrarecer toda esta máquina, se dilata la vareta *c a b* del péndulo; lo que hace alejar la lenteja *o* del punto de suspension *c*; pero dilatando el mismo calor las dos varetas de laton *k l* y *b i* mas que lo que dilata las dos varetas de acero correspondientes *d e* y *f g*, el exceso de la prolongacion del laton (que no puede dirigirse hácia abaxo) hace subir al travesaño *k b* hácia el travesaño *d f*; con cuyo motivo se acerca la lenteja *o* al punto de suspension *c*. Si está el todo bien proporcionado, sube la lenteja, en virtud del exceso de la prolongacion del

Digitized by Google

laton, una cantidad igual á la que desciende mediante la prolongacion del acero; y por este medio se halla siempre el centro de obscilacion *ó* igualmente distante del centro de movimiento *c*. Para que la proporcion sea exácta, como debe serlo, es preciso que la longitud de cada vareta de laton sea á la longitud del péndulo, como la rarefaccion del acero es á la del laton; esto es, que es preciso que las longitudes de estas varetas de metal esten en razon inversa de sus rarefacciones. La rarefaccion del acero es á la del laton, segun *Berthoud* reloxero, como 74 es á 121; cuya razon es, con muy corta diferencia, como la de 3 es á 5.

Movimiento de proyeccion.

270 Todos los cuerpos tirados ó arrojados fuera de la perpendicular al horizonte, se mueven con un movimiento compuesto de dos fuerzas; á saber, la fuerza de la pesantéz, y la fuerza que los arroja, que se llama ordinariamente *fuerza proyectil.* Tal es, por exemplo, la impulsion del brazo que arroja una piedra, ó la de la pólvora que despide una bomba ó una bala. La fuerza proyectil seria uniforme, esto es, que haria correr al móvil espacios iguales en tiempos iguales, si la resistencia de los intermedios (76 y *siguientes*) y de los rozamientos (96 y *siguientes*) no la opusiese obstáculo ninguno. Sin embargo de que estos obstáculos son inevitables en la naturaleza, haremos no obstante abstraccion de ellos; por ser mas sencillo y mas fácil el manifestar lo que sucederia, si estos obstáculos no existiesen, que el decir exáctamente lo que sucede en el estado natural.

271 Hemos visto ya qual es la direccion de la pesantéz (202), y tambien qual es su intensidad, ó la cantidad de su accion sobre los cuerpos (203 y *si-*

Digitized by Google

guientes). Si se conoce la direccion y la intensidad de la fuerza proyectil, bastará para conocer el efecto del movimiento compuesto de estas dos fuerzas, el aplicar á ellas las reglas del movimiento compuesto en línea curva, que hemos establecido arriba (168 y *siguientes*); y los resultados serán conformes. Digo las reglas del movimiento compuesto en línea curva á causa de que aquí varían de relaciones las potencias entre sí; porque la fuerza proyectil es uniforme por su naturaleza, y la fuerza de la pesantéz es aceleratriz.

272 Si la direccion de la fuerza proyectil se dirige de abaxo arriba, y es perpendicular al horizonte, se opone directamente á la direccion de la pesantéz (202); luego el movimiento del móvil será el efecto de la fuerza proyectil, ménos el de la pesantéz, y el movimiento permanecerá sencillo; pero la velocidad será menor de lo que lo exîge la fuerza proyectil (252). Sucede á este móvil lo mismo que sucederia á un cuerpo que subiese en virtud de las velocidades que hubiese adquirido por una caida acelerada (254); es decir, que este móvil sube á una altura igual á aquella de adonde seria preciso que cayese para adquirir, por la aceleracion de su caida, una velocidad igual á aquella con la qual ha comenzado á subir.

273 Si la direccion de la fuerza proyectil es horizontal, procede el móvil segun la regla establecida arriba (168), y describe una curva *m a' b' c' d' e' f'* (*fig.* 16), que será parabólica, si la fuerza proyectil es perfectamente uniforme, y la fuerza de la pesantéz exâctamente acelerada.

274 Si la direccion de la fuerza proyectil se dirige de arriba abaxo, pero obliqüamente al horizonte, procede tambien el móvil segun la regla establecida (168), y describe una curva de la natu-

Digitized by Google

raleza de la precedente, que no es mas que una semiparábola.

275 En fin, si la direccion de la fuerza proyectil se dirige de abaxo arriba, y obliqüamente al horizonte (este es el caso mas freqüente), describe entónces el móvil una parábola entera. Porque supongamos que el móvil *m* (*fig.* 32) sea arrojado directamente al punto *g* por una fuerza proyectil; si se quita de la elevacion de esta tendencia, durante una serie de instantes iguales, otras tantas partes que expresan los efectos de la pesantéz, las quales aumentan entre sí como el quadrado de los tiempos (216), esto es, que la línea que expresa el efecto de la pesantéz en el segundo tiempo, tenga quatro veces tanta longitud como la que le expresa en el primer tiempo; que la que le expresa en el tercer tiempo sea nueve veces de tanta longitud, &c. las extremidades *b*, *d*, *f*, *b*, de todas estas líneas *a b*, *c d*, *e f*, *g b*, que expresan las substracciones hechas en el efecto de la fuerza proyectil por la pesantéz, darán la curva *m b d f b*, esto es, dos semiparábolas semejantes que se unen en el vértice *d*.

276 En esto es en lo que está fundada toda la ciencia de la balística ó del arte de medir el tiro de una bomba ó de una bala; el qual consiste en la combinacion de la fuerza proyectil, y de la pesantéz del móvil. Todas estas curvas que describen los móviles en semejantes casos, tienen tanta mas amplitud, quanto mayor es la fuerza proyectil; y siendo todo lo demas igual, se verifica la mayor amplitud *m b* quando el ángulo de elevacion *g m b* es de 45 grados: las amplitudes correspondientes á los ángulos de elevacion igualmente distantes de 45 grados, son iguales; porque la amplitud es siempre como el seno del duplo del ángulo de elevacion.

Digitized by Google

He aquí por que la amplitud que corresponde al ángulo de 45 grados, es la mas grande de todas; porque el seno del duplo de 45 grados es el seno de 90 grados, ó el seno total, que es el mas grande de todos.

Esta amplitud es precisamente la que importa conocer, para poder acertar con seguridad al blanco adonde se dirige el móvil; y este es el punto de la dificultad, sobre todo si se trata del tiro de una bomba ó de una bala. Porque para conocer la amplitud de la parábola que describe el móvil, es preciso conocer el valor de la fuerza proyectil: pero esta fuerza proyectil procede entónces de la explosion de la pólvora; y es una cosa muy difícil el determinar con alguna exâctitud el valor de esta impulsion. Depende esta principalmente de la calidad de la pólvora, y de la cantidad, no solamente de la que se consume, sino de la que se inflama ántes de la salida de la bomba, ó de la bala; por haber manifestado la experiencia, que queda siempre sin inflamarse una parte de la pólvora; cuya parte no es siempre proporcional á la cantidad empleada: esto depende de muchas circunstancias que es difícil hacer sean siempre las mismas, como de la longitud del cañon ó del mortero, del peso de la bomba ó de la bala, de la fuerza con que se ha atacado la carga, &c. Así, una de las cosas de las mas esenciales de conocer para determinar la amplitud de la parábola, está sujeta á muchas variaciones. Además, en todo lo que acabamos de decir hemos hecho abstraccion de la resistencia de intermedios y de la de las fricciones (270); y es preciso no obstante contarlas por alguna cosa, pues que influyen en el movimiento del móvil: la bala roza contra las paredes interiores del cañon, y al salir de él se ve obligada á herir el ayre, y á desalojarle; lo que le hace perder una parte de su velocidad. Luego la fuerza

Digitized by Google

proyectil no es ya uniforme, y el esfuerzo de la pesantéz produce una velocidad ménos acelerada que la que produciria sin estos obstáculos. En virtud de esto se dexa conocer, que si es esencial el instruirse en estos principios, no es ménos necesario el exercitarse en la práctica.

CAPÍTULO VIII.

De la Hidrodinámica.

277 Es la *Hidrodinámica* una ciencia que tiene por objeto la pesantéz y el equilibrio de los fluidos, y el movimiento de ellos. Se ve en esta definicion que la *Hidrodinámica* comprehende la *Hidrostática* y la *Hidraúlica*.

La *Hidrostática* considera el equilibrio de los fluidos en reposo; cuyo equilibrio destruido produce un movimiento, y aquí es en donde comienza la *Hidraúlica*.

De la hidrostática, ó de la pesantéz, y del equilibrio de los fluidos.

278 Se llama *Hidrostática*, la ciencia que tiene por objeto la pesantéz y el equilibrio de los fluidos; y tambien el modo con que se ponen en equilibrio en estos fluidos los cuerpos que se sumerge en ellos. *Arquímedes*, entre los antiguos, fué el que hizo mas progresos en esta ciencia: aun en el dia de hoy se aplaude y elogia el modo ingenioso con que reconoció que una corona de oro no era de los quilates que debia ser, pesándola hidrostáticamente. Entre los modernos, es á *Galileo*, *Torricelli*, *Descartes*, *Pascal*, *Guglielmini* y *Mariotte*, á quien somos deudores de los mas preciosos conocimientos en es-

Digitized by Google

ta materia; y sus experimentos, tan convincentes como curiosos, nos han puesto en estado de saber lo que debemos esperar ó temer de la fuerza de las aguas que obran por su peso; y del modo con que podremos emplearlas útilmente por medio de las máquinas hidraúlicas.

279 Hemos dicho ántes (226) que la fuerza que hace caer á los cuerpos hácia la tierra, es la única causa de su peso; y que los esfuerzos que estos cuerpos hacen sin cesar para obedecer á esta fuerza, es el motivo de que pesen sobre los obstáculos que los retienen. Los fluidos que, como los cuerpos sólidos, tienen que obedecer á la pesantéz, hacen precisamente lo mismo que ellos; pesando sobre todos los obstáculos que se oponen á su caida. Pero á causa de su fluidez, pesan diferentemente que los cuerpos sólidos; resultando de esto fenómenos del todo particulares, y que nos es importante conocer.

280 Los fluidos son unas substancias cuyas partes son movibles entre sí, no tienen nada ó quasi nada de coherencia las unas con las otras, y se mueven independientemente las unas de las otras. En esta definicion estan comprehendidos los fluidos groseros, tales por exemplo, como un monton de trigo, un monton de arena, &c. y los fluidos sutiles y tenues, tales como el ayre y los otros fluidos aëriformes. Se puede tambien comprehender en ella los líquidos, por ser todos ellos fluidos; pero no todos los fluidos son necesariamente líquidos. Para que un fluido sea líquido es preciso que sus moléculas sean extremadamente pequeñas, y que puedan moverse independientemente las unas de las otras con la libertad necesaria, para que las de la superficie superior se coloquen todas en un plano paralelo al horizonte; tal es el vino, el agua, &c. No sucede lo mismo con los fluidos groseros; de los que la re-

Digitized by Google

union forma un cono mas ó ménos aplastado, segun que se alexan mas ó ménos de la perfecta fluidez. Pero los fluidos sutiles y tenues, cuya fluidez iguala á la de los líquidos, proceden como ellos, en quanto á la pesantéz y el equilibrio, siguiendo las mismas leyes. No trataremos aquí mas que de los fluidos sutiles y de los líquidos.

281 Todo lo que es líquido no lo es igualmente; y esta es la razon de que lo que exígen las leyes de la hidrostática, que vamos á establecer, se execute tanto ménos exâctamente, quanto estas sustancias se alexan mas de la perfecta fluidez. El agua y el aceyte se esparcen si se vuelca cubre el vaso que los contiene; pero la efusion del aceyte es mas lenta que la del agua, por tener entre sí mas coherencia las partículas del aceyte, que la que tienen las del agua. Los efectos mas singulares de la hidrostática dependen principalmente de la extrema pequeñez de las moléculas de los líquidos y de los fluidos sutiles, y de su muy grande movilidad.

282 Para facilitar la inteligencia de esta materia, la dividiremos en tres partes. En la primera, exâminaremos el modo de obrar de la pesantéz de un fluido solo, y del que todas las partes son homogéneas, ó que pueden ser consideradas como tales. En la segunda, veremos como pesan y se ponen en equilibrio muchos fluidos juntos, de los que las densidades sean diferentes. En la tercera exâminaremos como se ponen en equilibrio con los fluidos los cuerpos sólidos que se sumerge en ellos.

Pesantéz y equilibrio de un fluido solo y homogéneo.

283 Tenemos que exâminar aquí el modo con que un líquido, ó en general un fluido, tomado separadamente, y sin hacer comparacion con otros;

Digitized by Google

exerce su pesantéz sobre los obstáculos que le retienen; y como se pone en equilibrio consigo mismo.

284 *Las partes de un mismo líquido exercen su pesantéz independientemente las unas de las otras.* Esta propiedad dimana de que no tienen quasi ninguna coherencia entre sí; lo qual es muy diverso del modo con que pesan los cuerpos sólidos; pues que teniendo las partes de estos mucha coherencia entre sí, pesan todas en comun. Así, el choque de un cuerpo sólido es muy diferente del de un líquido: se teme la caida de un pedazo de hielo de una libra sobre la cabeza; y no se teme recibir daño alguno aunque caiga sobre nosotros una libra de agua: todo lo qual consiste en que esta última sustancia se divide al descender, por la resistencia del ayre que retarda las partes, las unas mas que las otras; y la velocidad de la masa total se retarda aun mas á causa de esta division, que lo que se hubiera retardado sin esto. Dividida así, se aplica á una superficie mas grande, entre la qual se reparte su esfuerzo; en lugar de que un sólido no hiere mas que en un espacio pequeño, el qual recibe el esfuerzo entero. Esta es la razon de que un cuerpo angular que cae sobre la cabeza, haga mas daño que un cuerpo plano del mismo peso, y que caiga de la misma altura.

285 Se sigue de este principio que si á un vaso lleno de un líquido se le hace un agujero en el fondo, no hay que vencer, para estorbar la salida de este líquido, mas que el peso de la columna del líquido que corresponde al agujero; y que este peso que hay que vencer es siempre uno mismo, ya sea que no haya en el vaso realmente mas que esta columna de líquido, ya que se halle lleno del todo.

EXPERIMENTO. El vaso cilíndrico de cristal *a b c* (*fig.* 33), tenga en su fondo un agujero *c*, guarnecido

Digitized by Google

de una birola cilíndrica de laton *d*, de una pulgada de diámetro, que se tape con un émbolo *g* bien ajustado á la birola, y untado con grasa á fin de que pueda ceder á una mediana presion. Este émbolo está unido á una varilla delgada *g h*, atada en *h* á una seda que se ciñe á la porcion de polea *m*, que se halla en la extremidad de la palanca *m n*, cuyo centro de movimiento está en *l*. La otra porcion de polea *n*, que termina la otra extremidad de la palanca, está tambien ceñida con una seda, de la que se halla pendiente un platillo de balanza *i*. Sobre la birola *d* se ajusta un tubo cilíndrico de cristal *f e*, cuyo diámetro interior es igual al de la birola, y cuya altura, quando está colocado, es igual á la del vaso *a b*. Dispuesto así todo, se llena de agua el tubo *e f*, y se ponen en el platillo *i* unas pesas que puedan ser levantadas por el peso de la columna de agua quando el tubo está lleno; y al mismo tiempo que impidan el descender al émbolo, y á la columna de agua, si es preciso, solamente 6 ó 7 líneas ántes que el tubo *e f* esté lleno. En seguida se quita el tubo *e f*: se pone el émbolo *g* en la birola *d*, y se echa agua en el vaso; lo qual hecho se observa que las pesas y el platillo *i* no se elevan hasta que el vaso *a b* está enteramente lleno. Luego no hay que vencer mas que el mismo peso, ya sea que no haya sobre el émbolo *g* mas que una columna de agua del mismo diámetro que él, ya sea que el vaso *a b* esté lleno. Luego en este último caso exerce esta columna de agua su pesantéz independientemente de la demas.

286 Para dar razon de esto, figurémonos toda la masa de agua contenida en un vaso, dividida en muchas columnas, 1, 2, 3, 4, 5 (*fig.* 34), de las que cada una esté compuesta de un igual número de partes. Si el fondo del vaso, el qual sirve de basa y

Digitized by Google

apoyo á todas estas columnas, llega á abrirse en *a*, la columna 3, no estando sostenida, caerá por la abertura, deslizándose entre las dos columnas 2 y 4, que estan sostenidas por las partes *b* y *c* del fondo del vaso, y de las que todas las partes movibles se convierten en otros tantos rodillos pequeños, que no ocasionando mas que un rozamiento de la segunda especie (97), retardan muy poco su caida. Resulta este efecto de la poca coherencia que tienen entre sí (280); porque si las columnas 1 y 2 de un lado, y 4 y 5 del otro, estuviesen compuestas de partes coherentes entre sí, permanecerian con toda su longitud, tal como si fuesen por exemplo, dos bugías, resultando un espacio vacío entre ellas, por la caida de la columna 3. Pero como todas estas partículas son con extremo pequeñas y muy movibles las unas sobre las otras, luego que la parte superior de la columna 3 llega á descender, se deslizan, como que ya no estan sostenidas por esta parte; y de este modo baxa toda junta la superficie de la masa total, aunque no sea mas que una de las columnas la que contribuya por su caida á la salida del agua. Quando las partes tienen alguna viscosidad, como las de los líquidos grasientos, ó quando la masa del fluido que se vierte, tiene mucha anchura con respecto á su altura, se percibe muy bien el vacío que dexa encima de ella la columna que desciende; pues entónces la superficie, en lugar de ser plana, está undida en el medio, y toma la figura de un embudo (360); á causa de que no llegan las partes inmediatas con bastante velocidad para reemplazar á las que una pesantéz directa hace descender: á mas, la presion del ayre encima del agujero es mas grande que su resistencia en la parte inferior de él.

287 Segun lo que acabamos de decir (285), se

puede comprehender con facilidad quales son las variaciones que ocasiona la liquidez en los efectos de la pesantéz. Si estando lleno de agua el vaso *a b* (*fig.* 33), y habiendo quitado el tubo *e f*, se quiere levantar el émbolo *g*, no hay que sostener mas que el peso de la columna de agua que carga sobre él, por la razon de que esta columna puede moverse independientemente del resto del líquido: pero si toda la masa de agua se convirtiese en yelo, por sola la razon de no ser ya fluido, y de que todas sus partes tendrian coherencia entre sí, se tendria que sostener el peso de la masa total para levantar el émbolo.

288 *Los líquidos exercen su presion en toda suerte de direcciones*; esto es, que no solamente pesan, como lo hacen los demas cuerpos, de arriba abaxo, sino que tambien cargan con todo el valor de su peso sobre los obstáculos que encuentran lateralmente, y de abaxo arriba. He aquí porque un tonel lleno de aceyte líquido se vacia quando se le abre un agujero en uno de sus lados; lo qual no sucederia si el aceyte estuviese helado, porque en este caso el aceyte seria un sólido, y los cuerpos sólidos no pesan mas que de arriba abaxo, y en ningun modo lateralmente.

289 Para concebir esta presion lateral, como tambien la que exercen los líquidos de abaxo arriba, es preciso hacer atencion á que sus moléculas son como un conjunto de globulillos pequeños, que estan contenidos en un vaso: se concibe fácilmente que estos globulillos pequeños no estan allí arreglados todos regularmente y en fila los unos sobre los otros, como lo hemos supuesto arriba (*fig.* 34); sino que lo mas freqüente es el que una columna exerza su presion entre otras dos, y el que se dirija á apartarlas, como se puede ver en la (*fig.* 35), en

Digitized by Google

donde la presion perpendicular que se hace enfrente del punto *a*, se comunica por las columnas laterales hácia los lados *c*, *d* del vaso; de modo, que si este estuviera abierto en estos sitios, se saldria el líquido de él, á causa de la gran movilidad de sus partes. El mismo rázonamiento se puede hacer para dar razon de la presion de abaxo arriba: quando la columna *a d* se dirige á apartar las dos moléculas *e*, *f*, la molécula *e* no puede ir mas léjos por estar apoyada contra las paredes del vaso; pero la molécula *f* puede ser movida de abaxo arriba, á ménos que una columna igual á la columna *g b*, ó qualquiera otra cosa equivalente, no pese sobre ella para contenerla.

290 En estos principios está fundada la conduccion del agua en la mayor parte de las poblaciones: viene este líquido desde su nacimiento á llenar los depósitos ó arcas construidos á mayor ó menor altura, segun el mas ó ménos desnivel que trae el agua; desciende desde allí por un tubo vertical, y despues de haber corrido horizontalmente por debaxo de tierra en otro tubo, sube por un tercer conducto hasta el caño ó surtidero de la fuente. Se puede tambien, segun estos principios, llenar de líquido un vaso, indiferentemente, ó por la boca, ó por el fondo, haciendo en este uno ó mas agujeros con sus válvulas correspondientes: este es el medio de que se valen en muchas partes para sacar el agua de los subterráneos ó pozos con cubetos ó pozales muy grandes; sin lo qual seria preciso inclinarlos para llenarlos, lo que seria incómodo, á causa de su mucha magnitud y altura.

291 Se sigue tambien de aquí, que quando se construyen diques, estanques, ú otras obras hidraúlicas para contener ó depositar el agua, es preciso proporcionarlas á la presion lateral que deben su-

fmir, cuya presion es tanto mas grande, quanto la altura del agua es mas considerable. He aquí por que es preciso que esta clase de obras tengan mas grueso y mas solidez en la parte baxa que en la alta. Las mismas precauciones poco mas ó ménos es preciso tomar con respecto á los fluidos groseros (280) que pueden irse deslizando, ya por la pequeñez de sus partes, ya por su poca union. Los muros ó paredes cuyo destino es el sostener terrenos ó terraplenes, deben ser bastante fuertes para resistir al empuje lateral de la tierra; cuyo empuje será tanto mas grande, quanto la tierra tenga ménos union, y los terraplenes esten mas elevados.

292 *Todas las partes de un mismo líquido estan en equilibrio entre sí, ya sea en un solo vaso, ya sea en muchos que se comuniquen, quando sus superficies superiores estan en un mismo plano paralelo al horizonte.* Esto es una conseqüencia de lo que acabamos de decir arriba (289); porque, pues que la molécula *f* (*fig.* 35) debe moverse de abaxo arriba, á ménos que una columna igual á la columna *g b* no pese sobre ella para contenerla; es preciso, para que haya equilibrio, que las extremidades superiores de estas dos columnas esten en un mismo plano horizontal, ó en puntos igualmente distantes del centro de la tierra, los quales no pueden hallarse en una línea recta: en una línea de 2000 metros de distancia hay cerca de 325 milímetros [1] de diferencia. Esta propiedad de los líquidos hace que suba el agua que se conduce á las casas, por conductos subterráneos, á tanta altura como la del sitio de adonde viene, qualquiera que sea la profundidad por donde se le haga pasar. En el uso or-

[1] Cerca de 2304 y ½ varas castellanas.
[2] Un pie y 2 pulgadas.

Digitized by Google

dinario se da poco mas ó ménos medio milimetro [1] de inclinacion por cada metro [2] para vencer la resistencia de los rozamientos (105); sin embargo, segun lo que acabamos de decir, no es esto absolutamente necesario; pues que por largo què fuese el camino, llegaria el agua á una altura igual á la del sitio de adonde viniese, siéndole preciso solo un poco mas de tiempo. Esto tambien puede servir para dar razon de los manantiales que se encuentra algunas veces en las cumbres de las montañas: estas aguas deben venir de montañas mas elevadas, ya esten inmediatas, ya distantes, por canales subterráneos que tienen poco mas ó ménos la forma de sifones inversos. Se sigue de este equilibrio, que si hay muchos depósitos que se comuniquen, basta ver uno solo para juzgar de la altura del agua en los demas; la qual estará seguramente á la misma altura en todos: en este principio está fundada la construccion del nivel de agua.

293 Acabamos de decir (292) què para que las partes de un mismo líquido esten en equilibrio, es preciso que sus superficies superiores esten en un mismo plano paralelo al horizonte. De adonde se sigue, que quando la superficie del agua tiene mucha extension, es seguro que se presenta sensiblemente convexa. Se nota fácilmente esto en el mar quando se ven los palos de un navio muy distante, ántes que se pueda percibir lo demas de él: lo mismo sucede en tierra quando en una gran llanura se ve la parte superior de las torres de un pueblo, ántes de ver las casas. La razon de esto está fundada en que no podemos ver mas que en línea recta, y la convexidad de la tierra ó del mar interrumpe el rayo

[1] 0,25850 de línea del pie castellano.

[2] 3 pies, 7 pulgadas, 1 línea, y 2, 14 puntos.

visual que viene de la parte baxa de los objetos, desde una distancia á la que el rayo que viene de las partes superiores de ellos puede llegar libremente al ojo del expectador.

294 *Los líquidos exercen su presion así perpendicular como lateralmente, no en razon de su cantidad, sino en la de su altura por encima del plano horizontal, y del ancho de la basa que se opone á su caida.* Esto es, que si se llena de agua muchos vasos que sean todos de una misma altura, y cuyos fondos sean iguales, todos estos fondos estarán igualmente cargados, qualquiera que sea la forma y la capacidad de estos vasos. Supongamos que se llena de agua los tres vasos *a b c d* (*fig.* 36), *e f g h* (*fig.* 37), *l m n o p q* (*fig.* 38), cuyas alturas *a b*, *i f*, *l t* sean las mismas, y que todos tengan unos fondos iguales *b c*, *f g*, *n o*: está probado por la experiencia, que todos estos fondos estan igualmente cargados, aunque las cantidades de agua que llenan los vasos sean muy diferentes. En el vaso (*fig.* 36), el fondo *b c* está cargado de toda la masa de agua *a b c d*; en cuyo caso pesa el líquido del mismo modo que un sólido: supongamos que su peso sea media arroba. En el vaso (*fig.* 37) es fácil de concebir, segun lo que hemos dicho arriba (285), que el fondo *f g* no está cargado mas que con media arroba de agua, aunque la capacidad de este vaso sea mucho mas grande que la del primero; á causa de no sostener el fondo *f g* mas que la columna *i f g k*, igual á la del vaso (*fig.* 36), cuya columna exerce su pesantéz independientemente del resto (284) que carga sobre las paredes *e f*, *h g* del vaso (*fig.* 37). La dificultad pues consiste en entender como es que el fondo *n o* del vaso (*fig.* 38), está tambien cargado con media arroba, sin embargo de que tal vez bastarán un par de libras de agua para llenarle. He

Digitized by Google

aquí como se puede comprehender: es cierto que sobre la porcion *t v* del fondo *n o*, hay una presion igual á la de una columna de agua cuya basa es la extension *t v*, y la altura *l t*. Si sobre todas las demas porciones semejantes del mismo fondo, hay una presion igual á la de la columna *l t v q*, está este fondo igualmente cargado por todas partes. Ahora, sobre la porcion *v x*, por exemplo, hay una presion igual á la de una columna de agua *q v x r*, la qual es igual á la columna *l t v q*; por la razon de que la columna pequeña de agua *p v x s*, que insiste encima de *v x*, se dirige á elevarse por la presion de la columna inmediata *l t v q* (289), y con una fuerza igual al exceso *l m p q* de la columna mayor sobre la menor; luego esta columna mayor carga sobre la parte *p s* del fondo superior con esta fuerza. Pero *la reaccion es igual á la compresion* (112); luego la parte *p s*, obra con una fuerza igual al exceso *l m p q* de la columna mayor sobre la menor; luego sobre la porcion *v x* del fondo *n o* hay una presion compuesta de la presion de la columna pequeña *p v x s*, y de la reaccion de la parte *p s*, igual á la presion de una columna de agua *p q r s*, cuyas dos presiones unidas igualan á la presion de la columna *l t v q*. Lo que digo de la porcion *v x*, se puede decir de lo demas del fondo *n o*. Luego el fondo del vaso (*fig.* 38) está igualmente cargado por todas partes; luego, &c.

295 Se sigue de aquí una proposicion, que parece á primera vista una paradoxa, pero que no es ménos cierta que las anteriores, y que influye considerablemente sobre quasi todas las máquinas hidraúlicas: á saber, que la misma cantidad de agua puede hacer un esfuerzo 200 ó 300 veces mayor ó menor, segun la manera con que se emplee este líquido. Por exemplo, si se emplea la cantidad que

Digitized by Google

puede contener el vaso (*fig.* 37) en un vaso semejante al de la *fig.* 38, pero con la altura suficiente para contenerla toda; la presion sobre el fondo *n o* será considerablemente mas grande que sobre el fondo *f g*.

296 Se sigue tambien de lo que acabamos de decir (294), que se puede hacer reventar un tonel ó pipa *c d* (*fig.* 39) que esté ya lleno, cargándole con algunas libras de agua, empleadas en un tubo *a b*, de 9 á 10 varas de longitud. Por lo que acabamos de decir del vaso (*fig.* 38), es claro que esta corta cantidad de agua que llena el tubo *a b*, carga el fondo del tonel tanto como si se le añadiese una columna de agua de un grueso igual al del mismo tonel, y de tanta altura como la del tubo *a b*, lo qual sería un peso enorme.

Pesantéz y equilibrio de muchos fluidos, cuyas densidades son diferentes.

297 Hemos dicho arriba (280) que los fluidos son un conjunto de cuerpecillos muy movibles entre sí, independientes los unos de los otros, y que pesan separadamente y á proporcion de sus pequeñas masas. Es preciso añadir, que cada uno mismo de estos cuerpecillos es un conjunto de particulillas mucho mas sutiles y fuertemente adheridas entre sí. Las figuras y las magnitudes de estas particulillas, así como la figura de los cuerpecillos que ellas componen, ocasionan mas ó ménos vacíos en la reunion de ellos, y por consequencia mas ó ménos porosidad (15), resultando de ellos unos fluidos ó líquidos de diferentes densidades.

298 *La diferencia del peso, ó de la densidad basta para separar las partes de muchos fluidos ó líquidos que se hayan mezclado, si otras causas mas*

Digitized by Google

fuertes no se oponen á este efecto. Hemos dicho arriba (284) que las partes de los fluidos exercen su pesantéz independientemente las unas de las otras. Aquellas que tienen mas densidad, como tienen mas fuerza para ocupar la parte mas baxa, obligan á las otras á cederles su puesto; y de este modo es como se hace la separacion: quando se ha mezclado bien agua y aceyte, se verifica esto; porque si se dexa reposar todo, como el agua tiene mas densidad que el aceyte, se apodera de la parte inferior, y el aceyte pasa á la parte superior. Si este efecto no se verifica es porque hay causas que se oponen á ello; las quales son, 1.ª los rozamientos que crecen á medida que la division es mayor, por aumentarse entónces las superficies; como quando se mezcla agua y vino, que el agua, aunque mas densa que el vino, no se separa de él: 2.ª la viscosidad de las materias, como quando se bate claras de huevo, en cuya operacion se mezcla mucho ayre con ellas: este ayre, aunque mucho mas ligero, no tiene la fuerza suficiente para romper las cubiertas que le sujetan, y escaparse: 3.ª la analogía entre dos líquidos que hace que se dividan mucho, y que sufran por esta division rozamientos que hacen mas que compensar la diferencia de sus densidades: el espíritu de vino bien mezclado con el agua no se separa de ella, y el aceyte sí. Esta es la razon de que baste el reposo solo para separar la nata, que es una materia grasienta, de la leche que es una sustancia aquosa.

299 *Dos fluidos de densidades diferentes están en equilibrio entre sí, quando teniendo la misma base, sus alturas perpendiculares al horizonte están en razon recíproca de sus densidades ó pesos específicos*: en cuyo caso las presiones son iguales, que es de adonde nace el equilibrio. Si se pone mercurio, por

exemplo, en un sifon inverso, y se echa agua en uno de sus brazos; es preciso para hacer elevar el mercurio en el otro brazo un centímetro [1] por encima de su nivel, que el agua tenga cerca de 13 $\frac{1}{2}$ centímetros de altura. Luego la altura del agua será 13 $\frac{1}{2}$ veces tan grande como la del mercurio; del mismo modo que la densidad del mercurio es 13 $\frac{1}{2}$ veces tan grande como la del agua.

300 Los fluidos elásticos ó aëriformes tienen como fluidos todas las propiedades de estas sustancias, y se les puede aplicar todo lo que hemos dicho hasta aquí relativamente al equilibrio de los fluidos. Pero ellos tienen á mas otras propiedades particulares, dependientes de su virtud elástica, ó de la facultad por la qual disminuyen ó aumentan de volúmen, segun estan mas ó ménos comprimidos. El ayre cuya análisis daremos mas adelante (643), es de todos los fluidos elásticos el que mejor se conoce, el mas esparcido, y el agente mas universal de la naturaleza: su presion y equilibrio ocupará ahora nuestra atencion; despues de lo qual será fácil hacer aplicacion de la misma teoría á las demas especies de fluidos elásticos.

301 *El ayre es un fluido pesado, y que, al modo de los demas fluidos ó líquidos, exerce su presion en todas direcciones.* Aunque la pesantéz no sea un atributo esencial de la materia, y aunque podamos formar idea de ella, haciendo abstraccion de esta tendencia hácia el centro de la tierra, sin embargo no conocemos substancia ninguna sublunar que no sea pesada, y ni aun al ayre podremos exceptuar con razon fundada de la ley comun á todos los cuerpos sublunares. El peso del ayre pues, fué una cosa absolutamente desconocida á los filósofos

[1] 5 líneas, y 2, 061 puntos del pié castellano.

antiguos: admitian estos en la naturaleza dos especies de cuerpos: cuerpos pesados, tales como una piedra, un metal, y en general todos los cuerpos que abandonados á sí mismos, se dirigen al sitio mas baxo; y cuerpos ligeros, tales como el ayre, la llama, los vapores, &c. porque parece que estos cuerpos se elevan á las regiones superiores: ellos pensaban que el ayre estaba dotado de una ligereza absoluta, y todos los efectos que tienen por causa á su pesantéz eran atribuidos al *horror* que tenia la naturaleza, segun ellos, al *vacío*. Esta ligereza del ayre ha tenido un reynado muy largo; pues que no hace mas que 150 años que se convenciéron los filósofos de que era pesado. Deseando los fontaneros de *Cosme de Medicis*, gran Duque de Florencia, hacer subir el agua á 50 ó 60 pies, por medio de una bomba atractiva, observáron que el agua no subia mas que á una cierta altura, pasada la qual la naturaleza estaba reconciliada con el vacío que se hacia allí, ó por lo ménos sufria buenamente esta defectuosidad. Comunicáron los fontaneros á *Galileo* este capricho de la naturaleza; y este sabio fixó su atencion en él, sin embargo de que hasta entónces se habia pagado, como los demas, del horror del vacío, cuyos límites no habia observado aun. En virtud de pruebas reiteradas, se aseguró de que el agua no subia mas que á cerca de 32 pies en las bombas atractivas, y de que el resto del tubo, si era mas largo, quedaba vacío. No fué necesario mas que esto para que se declarase contra el *horror del vacío*; y bien léjos de pensar que este tenia sus límites, pasados los quales se convertia en una indiferencia, comenzó á creer que estas clases de fenómenos tenian una causa física muy diferente de la que se habia empleado hasta entónces para explicarlos. *Torricelli*, su discípulo hizo evidente lo que él habia sospecha-

Digitized by Google

do; manifestando el primero en 1645 que una columna de ayre tomada en la atmósfera, se pone en equilibrio con una columna de otro fluido que tenga la misma base; y á fin de no tener necesidad de un tubo largo, se sirvió de mercurio en lugar de agua. Tomó pues un tubo de cristal de cerca de 3 pies de largo, de 2 á 3 líneas de diámetro, cerrado herméticamente por uno de sus extremos, y abierto por el otro: llenó este tubo de mercurio bien purificado; y tapando el orificio con el dedo invirtió el tubo, y colocó el extremo abierto en un vaso lleno del mismo mercurio; y en el instante en que retiró el dedo, la columna de mercurio, que tenia cerca de 36 pulgadas de altura, se reduxo á la de cerca de 28 pulgadas. Ahora, si se compara el experimento de *Galileo* con el de *Torricelli*, se verá que las columnas de los fluidos elevadas así por encima de su nivel, disminuyen de longitud como aumentan sus densidades; y que la causa que eleva al agua á 32 pies, no puede sostener al mercurio mas que á 28 pulgadas. Quando se sabe por otra parte que estas dos columnas, tan diferentes en longitudes, tienen pesos perfectamente iguales, ¿no se debe reconocer precisamente que este efecto, es el efecto de un equilibrio? ¿y quál es la potencia que puede hacer equilibrio á estas columnas suspendidas, como no sea el ayre que carga con su peso sobre los depósitos de los líquidos? Este es el raciocinio que hizo *Torricelli*, y que han hecho despues quasi todos los físicos.

302 *Pascal* aumentó tambien las pruebas dadas por *Torricelli*: he aquí el raciocinio que hizo: "si »el ayre es la causa de este fenómeno es por la ra»zon de ser pesado y fluido; luego su presion debe »hacerse como la de los líquidos, disminuyendo ó »aumentando segun su altura; y siendo siempre las

Digitized by Google

»columnas de líquidos con las quales se le pongan »en equilibrio de mayor ó menor altura, segun su »menor ó mayor densidad." Se sigue de aquí que las columnas de ayre deben causar una presion tanto mas grande, y sostener los líquidos á tanta mayor altura, quanta mayor sea su longitud. Como estas columnas son de mayor altura en lo baxo de una montaña que en su cumbre, induxo *Pascal* á su cuñado *Perrier*, que se hallaba entónces en *Clermon* en *Auvernia*, á que se aprovechase de la montaña conocida baxo el nombre de *Pui-de-dome*, para hacer el experimento siguiente [t].

[t] La idea de este experimento no se debe á M. Pascal, sino á Descartes, si hemos de dar crédito á éste, y á lo que dice M. Paulian en su obra intitulada: *Traité de paix entre Descartes et Newton*, tom. 1.° carta V. pag. 102. Estas son sus palabras: "3.° Descartes miró siempre el ascenso del mercurio en el »barómetro como efecto del peso del ayre que respiramos. A él »mismo tambien, y no á Pascal, es á quien debemos el experi»mento de *Pui-de-dome*. Como podria presumirse que pretendo »en esto disminuir la gloria de Pascal, copiaré aquí las mismas »palabras de Descartes al P. Mersenne. *Me prometo* (dice Des»cartes en su carta XV. tom. VI. edicion en 12.°) *no llevareis á »mal el que os ruegue me manifesteis el éxito de un experimen»to que me han dicho haber executado M. Pascal, ó mandado exe»cutar en las montañas de* Auvernia; *con el fin de saber si el »mercurio sube á mayor altura en el tubo, estando al pie de »la montaña; y quanta es esta mayor altura en lo baxo de ella, »con respecto á la que se nota en su cumbre. Tendria derecho »para esperar esta noticia de él, mas bien que de vos, porque »yo fuí quien le avisó ya hace dos años, para que hiciese este ex»perimento, asegurándole que aunque yo no le habia hecho, no »tenia duda ninguna de que el éxito seria felix; pero como M. »Pascal es amigo de M. R. que hace profesion de no serlo mio, y »como he visto ya que ha pretendido combatir mi materia sutil

303 EXPERIMENTO. Colocó Perrier el tubo de *Torricelli* sobre una regla graduada en pulgadas y en líneas; y habiendo observado á la altura á que se hallaba sostenido el mercurio en este tubo al pie de Pui-de-Dome, notó que baxaba cada vez mas á proporcion que él iba subiendo hácia lo mas alto de la montaña, y que al contrario subia el mercurio, segun las mismas proporciones, á medida que él descendia hácia el valle; encontrándose ser la diferencia de 3 pulgadas y 1 línea. Este experimento, imaginado por *Pascal*, y repetido muchas veces, ha dado siempre el mismo resultado; de adonde se concluyó que se sostenia el mercurio por cima de su nivel en el tubo de *Torricelli*, en virtud de la presion que exercia el ayre sobre el mercurio contenido en el vaso; pues que se le veía baxar en el tubo, quando la columna de ayre que correspondia á este vaso, disminuía en su longitud. Al mismo tiempo que estos experimentos manifestáron con toda evidencia el peso del ayre, restituyéron auténticamente á este fluido un grandísimo número de efectos naturales, que se habia atribuido hasta entónces á una caùsa puramente chîmérica.

304 Repitió despues *Pascal* el mismo experimento, sirviéndose indistintamente para ello de agua, vino, aceyte, &c. y halló que las alturas de las columnas de estos líquidos eran siempre proporcionales á sus densidades; prueba evidente de que se

„ en un viejo impreso de 2 á 3 páginas, tengo motivo para creer „ sigue las pasiones de su amigo. Respondió el P. Mersenne á esta „ carta diciendo, que el experimento en question habia salido ma„ ravillosamente; y que al pie de la montaña de *Pui-de-dome*, „ se elevaba el mercurio, en el tubo del barómetro, 3 pulgadas „ y 3 líneas mas que en la cumbre de esta montaña." *Nota del Traductor.*

Digitized by Google

ponian en equilibrio con un peso que no podia ser otro mas que el del ayre.

305 En virtud de todo esto, muchos físicos de aquel tiempo procuráron hacerse con un tubo de *Torricelli*, colocado, al modo del de *Perrier* (303), sobre una escala graduada en pulgadas y en líneas; y observándole repetidas veces, notáron que la altura del mercurio en el tubo estaba sujeta á muchas variaciones; de adonde concluyéron que la presion del ayre, que es la causa de la suspension de la columna de mercurio, es unas veces mayor y otras menor, y que obra por decontado mas ó ménos fuertemente sobre nuestros cuerpos: en conseqüencia de esto se pensó desde entónces en hacer del tubo de *Torricelli* un nuevo instrumento meteorológico, que es el que en el dia llamamos *barómetro* (*fig.* 40).

306 Obra el ayre de dos modos sobre este instrumento, esto es, por su peso y por su resorte: luego la variacion de su presion sobre el vaso del barómetro dimana de dos causas; á saber, de la variacion de su peso y de la de su resorte. Varía su peso en virtud de la variacion de su densidad, y del mayor ó menor número de substancias extrañas que se hallan mezcladas con este fluido, ó que él tiene en disolucion; y su elasticidad varía en virtud de la variacion de su densidad, y de la mayor ó menor cantidad de calor de que está cargado. La mayor parte de las substancias extrañas que no hacen mas que mezclarse con el ayre baxo la forma de fluidos elásticos, disminuyen el peso de la columna de ayre, por ser mas ligeras que él; pero aquellas de estas substancias que estan disueltas en el ayre aumentan su densidad, y por conseqüencia su peso; del mismo modo que la sal disuelta en el agua aumenta su peso y su densidad. Con respecto al resorte del ayre, el calor, que es quien le

Digitized by Google

aumenta, disminuye al mismo tiempo su densidad enrareciéndole; sucediendo algunas veces que lo uno compense á lo otro: pero, como el aumento de la elasticidad del ayre mediante el calor es proporcional á la fuerza que le comprime en el momento en que se calienta (930), puede suceder que esta compensacion no se verifique; y entónces no se percibe de estos dos efectos mas que el exceso del mayor sobre el menor.

307 Tiene tambien el barómetro otra propiedad que no le hace ménos recomendable; y es la de anunciar con anticipacion las variaciones del tiempo, sobre todo, quando deben ser considerables; cuya especie de predicciones suelen ser útiles en bastantes circunstancias, como por exemplo, para los trabajos del campo, para los viageros, &c. Segun todas las observaciones que se ha hecho en el barómetro, parece bastante seguro 1.° que la altura media del mercurio es en Francia de 27½ pulgadas: 2.° que las variaciones de esta altura no se extienden en él á mas de 3 pulgadas, es decir, que su mas grande descenso es de 26 pulgadas, y su mas grande elevacion de 29: 3.° que estas variaciones son menores hácia el equador, y mayores hácia los climas septentrionales: 4.° que quando el mercurio baxa en el barómetro, á qualquiera altura que se halle entónces, anuncia lluvia ó viento, ó en general lo que se llama mal tiempo: 5.° que al contrario, quando sube, aunque no sea mas que á 26 pulgadas en el tiempo de su ascenso, anuncia el buen tiempo: 6.° que faltan algunas veces estas predicciones, sobre todo si las variaciones de altura del mercurio se hacen lentamente y en pequeña cantidad; y 7.° que al contrario, son quasi infalibles estas predicciones quando sube ó baxa el mercurio una cantidad considerable en poco tiempo, como por exem-

Digitized by Google

plo, 3 ó 4 líneas en algunas horas.

308 Es bastante claro que una grande elevacion del mercurio en el barómetro, denota la grande presion que exerce el ayre; pero queda por saber qué afinidad hay entre esta presion mas ó ménos grande, y la variacion de tiempo, que no sucede algunas veces sino diez ó doce horas despues. Procuraremos explicar este fenómeno. La presion que el ayre exerce sobre el vaso ó depósito del barómetro, procede de su peso y de su resorte; cuyas dos cosas pueden variar, como acabamos de probarlo (306), y por conseqüencia la presion que ellas producen. Siempre que el ayre tenga en disolucion una grande cantidad de agua, aumentará su peso específico (306); la columna de ayre que carga sobre el vaso del barómetro se volverá mas pesada, y el mercurio subirá. Si la disolucion no es perfecta, disminuirá la transparencia del ayre; lo qual producirá nieblas, que no dexan de hacer subir el barómetro. Pero si la disolucion llega á ser perfecta, se completará la transparencia del ayre, y volverá el buen tiempo; lo que anunciará con su ascenso el mercurio del barómetro. Quando algunas causas determinen á esta agua disuelta á precipitarse y á descender á la region baxa de la atmósfera, ántes que esté bastante condensada para reunirse en gotas y formar la lluvia, habrá llegado ya una parte de ella hasta la superficie de la tierra; la prueba de lo qual es que quando el tiempo se prepara para llover, se humedecen todos los cuerpos que no son susceptibles de ser penetrados por el agua, tales como las varandillas, ú otras cosas de hierro, las piedras duras, &c. Luego la columna de ayre que insiste sobre el vaso del barómetro, llegará á ser ménos pesada por la pérdida de esta porcion de agua, que ya ha baxado hasta la tierra; y el barómetro descenderá y anun-

Digitized by Google

ciará la lluvia, que se verificará poco tiempo despues, formada por el resto del agua que habrá tenido tiempo de reunirse en gotas.

309 Confieso que hay algunas observaciones que parece contradicen la explicacion que acabamos de dar. Sucede algunas veces que sube el barómetro, aun quando llueve, en tanto que el ayre se descarga del agua que tenia en disolucion: del mismo modo sucede freqüentemente, y yo lo he observado muchas veces, sobre todo en invierno, que durante meses enteros, siempre que sube el mercurio en el barómetro sobreviene la lluvia, y siempre que desciende vuelve el buen tiempo. Creo no obstante que puede muy bien conciliarse esto con la explicacion dada arriba (308); porque, como hemos dicho, la grande cantidad de agua disuelta en el ayre es la que aumenta el peso de él. Luego si durante la lluvia se forma en el ayre una nueva disolucion de agua mas abundante que la cantidad que cae (y esto sucede algunas veces), subirá el barómetro; y si esta agua así disuelta permanece en la region baxa, anunciará este ascenso del barómetro una nueva lluvia; que es lo que sucede freqüentemente en semejantes circunstancias. En fin, si el ayre disuelve una grande cantidad de agua, y al mismo tiempo el frio ú otra qualquier causa impide á esta agua el disolverse perfectamente y el elevarse á una grande altura, no aumentará ménos el peso del ayre, lo qual hará subir el barómetro; y sin embargo, toda el agua estará pronta á reunirse en gotas, y á formar la lluvia que caerá poco tiempo despues. Si durante esta lluvia no hay otra nueva disolucion, se volverá el ayre mas ligero; luego el barómetro descenderá, y á pesar de esto anunciará el buen tiempo que debe seguirse. He aquí, segun yo creo, como se puede dar razon de la especie de afinidad

Digitized by Google

que parece subsistir entre el peso del ayre y la variacion de tiempo, segun las circunstancias. Podrá tambien verificarse el buen tiempo, sin embargo de la disminucion del peso del ayre, quando se mezcle con este fluído algun otro fluido elástico mas ligero que él, y que no turbe su transparencia. En fin, el resorte del ayre, cuya fuerza puede variar por diferentes causas, contribuirá tambien á hacer variar su presion: este resorte obra algunas veces conjuntamente con el peso, para aumentar su efecto; otras veces obra en direccion contraria, y puede así disminuir y aun compensar el efecto del aumento de peso. De modo que el buen ó mal tiempo puede subsistir, á qualquiera altura que esté el mercurio del barómetro; y esto sin quitar su valor á la explicacion que hemos dado de este fenómeno.

310 El tubo de *Torricelli*, del que los físicos han formado el barómetro, es el que se llama simple; el qual es sin duda, entre todos los que se han imaginado hasta el presente, el que debe ser preferido para las observaciones que piden alguna exáctitud, á causa de los inconvenientes inevitables que se halla en los demas. El que quiera enterarse del mecanísimo de todos estos barómetros, vea mi *Diccionario razonado de física*, tomo 1.°, y allí encontrará una descripcion amplia y exácta de todos ellos.

311 Hemos dicho (301) que el ayre exerce su presion en toda suerte de direcciones, de arriba abaxo, lateralmente, y de abaxo arriba: su presion de arriba abaxo está bien probada con lo dicho ya: su presion lateral, así como la de ábaxo arriba, es muy fácil de percibir: si se hace un agujerillo con una barrena pequeña, en el lado ó en la parte inferior de un tonel lleno ó quasi lleno, no se saldrá el licor contenido en él, por la razon de que el ayre que se presenta al agujero, sostiene este líquido,

que no tiene altura bastante para vencer su presion. En fin, todos los efectos que dependen de la presion del ayre, se verifican en un quarto ó pieza qualquiera, en donde la columna de ayre se termina en el techo, del mismo modo que en la parte de afuera, en donde esta columna tiene toda la altura de la atmósfera; cuya causa es el que el ayre de lo interior comunica con el de lo exterior, aunque no sea mas que por el agujero de la cerradura. Esta es la razon de que se mantenga el mercurio á tanta altura, en un barómetro colocado en una habitacion, como si este barómetro estuviese colocado á la parte de afuera.

312 *Todos los fenómenos que observamos en los sifones dependen de la presion del ayre.* Un sifon es un tubo curvo *a b c* (*fig.* 41) de cristal, ó de metal, madera, &c; y cuyo brazo *a b* es mas corto que el otro *b c*. Para hacer uso de este instrumento, se coloca la extremidad *a* (*fig.* 42) del brazo corto *a b* en el vaso *e e*, que contiene el líquido; se quita el ayre del sifon chupando por la extremidad *c* del brazo largo *b c*; y entónces comienza á salir el líquido; cuya salida continúa hasta que el brazo corto *a b* dexa de estar sumergido en el líquido. Es fácil de ver que lo que causa esta salida del líquido, es la presion del ayre sobre la superficie de él en el vaso: porque supongamos que *g f* sean los confines de la atmósfera; todos los puntos de la superficie *a* del líquido estan igualmente oprimidos por la columna de ayre *a f*; y si en algun sitio de esta superficie se suprime esta presion, debe el líquido escaparse por él, pues que allí encuentra ménos resistencia que por otra qualquier parte: esta es la causa de que se llene el sifon enteramente, quando se chupa el ayre por la extremidad *c*.

313 Si los dos brazos del sifon fueran de igual

Digitized by Google

longitud como *b a*, *b d*, no se verificaria la salida del líquido; á causa de que la columna de ayre *d g*, que quedaria en *d*, siendo tan alta como la que oprime en *a*, le haria equilibrio del mismo modo que se le hacen las dos columnas de líquido *b a*, *b d*. Pero quando el uno de los dos brazos *b c* es mas largo que el otro, aunque la columna de ayre *g c* que le corresponde, sea de mayor longitud que la que oprime en *a*, no es capaz de estorbar la salida del líquido. He aquí la razon: consideremos la columna de ayre *g c* como dividida en dos partes, de las quales una *g d* hace equilibrio con la columna de ayre *f a*, y seria capaz de suspender la salida del líquido, si el brazo *b c* concluyese en *d*. Luego la porcion de líquido que llena la parte *d c* del sifon, no encuentra otra resistencia en *c*, mas que una columna de ayre *d c* de la misma longitud que ella, pero que le es muy inferior en peso; luego esta porcion de líquido se saldrá en virtud del exceso de su peso. Pero miéntras que sale esta porcion de líquido, no hay nada que sostenga á la que está encima, la qual la sigue necesariamente, en tanto que la presion del ayre en *a* proporciona nuevo líquido para reemplazar el que se ha salido; de este modo se hace continua la salida del líquido. Esta es la razon de que la resistencia del ayre en *c* esté tanto mas vencida, quanto mas excede la longitud del brazo *b c* del sifon, á la del brazo *a b*. Se tendrá la prueba de esto, si se añade en *c* un tubo que prolongue este brazo; porque entónces saldrá mas líquido en un tiempo dado, que el que saldria sin esta prolongacion. La figura y la materia del sifon no varían nada el efecto: una vena de arena podria hacer su oficio.

314 Pues que la presion del ayre es la que eleva el líquido en el brazo corto *b a*, se sigue de aquí que la altura de este brazo está limitada á 32 pies

Digitized by Google

quando el líquido es agua; por la razon de que el ayre no la puede hacer subir á mayor altura (301); y tambien se sigue que quando el líquido es mercurio, no debe exceder de 28 pulgadas la altura del brazo corto, por no poder el ayre sostener al mercurio mas que hasta esta altura.

Pesantéz y equilibrio de los sólidos sumergidos en los fluidos.

315 No cabe duda en que un sólido que se sumerge en un líquido qualquiera, con tal que no pueda penetrar al tal sólido, ocupa el sitio de un volúmen de este líquido perfectamente igual al suyo. Este volúmen de líquido desalojado, ó iguala en densidad ó en peso al sólido que se apodera de su lugar, ó bien el uno de los dos pesa mas que el otro. En este último caso, que es el mas comun, se llama *peso respectivo* á la cantidad en que excede el mas pesado al mas ligero.

316 *Un cuerpo sólido, enteramente sumergido en un fluido, está comprimido por todas partes por el fluido que le rodea; y la presion que padece es tanto mas grande, quanto mas profundamente se halla sumergido, y quanto mas densidad tiene el fluido.* Hemos probado arriba (288) que los líquidos ó fluidos exercen su presion en toda suerte de direcciones; por conseqüencia, un cuerpo sólido sumergido en un fluido, está comprimido por todas partes. Hemos probado (294) que crece esta presion en razon de la altura del fluido; luego la presion que padece el cuerpo sumergido, es tanto mas grande, quanto mas profundamente se halla sumergido. En fin, hemos probado (299) que hay equilibrio entre dos fluidos cuyas alturas estan en razon recíproca de sus densidades; luego á profundidades iguales, está tan-

Digitized by Google

to mas comprimido el cuerpo sumergido, quanto el fluido tiene mas densidad.

317 Luego estando nosotros, como estamos, sumergidos en el ayre, que es un fluido que obra segun todas las leyes de la hidrostática (301), estamos comprimidos por todas partes por el ayre que nos rodea, mas en un sitio baxo que en uno elevado, y tanto mas, quanto mas densidad tiene el ayre. Es verdad que notamos poco esta presion, sin embargo de ser muy grande, pues que con respecto á una persona de mediana estatura, excede el peso de 30000 libras: procede el que no la notemos, 1.° de que esta presion sobre nosotros es continua; y las sensaciones habituales no son para nosotros, en algun modo, sensaciones; pues que solo notamos con distincion las cosas que nos son extraordinarias: 2.° de que respiramos interiormente el mismo fluido, lo que establece un equilibrio entre la presion exterior y la reaccion interior. Aun ménos percibimos las diferencias de esta presion, por ser muy poco sensibles; lo qual no seria así si viviésemos, lo mismo que los peces, en un fluido mucho mas denso, como el agua. Un pez que se halla á la superficie del agua, no está cargado mas que del peso de la atmósfera; pero si se sumerge solamente á 32 pies de profundidad, la presion que padece en este segundo caso es dupla de la que padecia en el primero. Esta es una de las principales razones que se ha tenido para abandonar el uso de la campana del buzó; por la razon de que á 64 pies de profundidad se padecia una presion, así exterior como interiormente, demasiado fuerte ya para poderla sostener durante algun tiempo sin peligro de la ruptura de alguna vena del hombre situado dentro de ella, y de arrojar sangre.

318 *Un cuerpo sumergido en un fluido, añade á*

Digitized by Google

este fluido un peso igual al del volúmen de fluido que él desaloja, qualquiera que sea la densidad de este cuerpo. Si en un vaso quasi lleno de agua, suspendido del brazo de una balanza, y en equilibrio con un peso colgado del otro brazo, se sumerge indistintamente, ya sea una bola de madera, ya una bola de plomo del mismo diámetro, fixa á una varilla que se tiene cuidado de no soltar, en el uno y el otro caso se añade al fluido un peso igual; á causa de que el mismo peso colocado en el otro brazo será, en los dos casos, necesario y suficiente para restablecer el equilibrio. Luego, &c. La razon de esto está fundada en que el cuerpo sumergido hace elevar el líquido, en el vaso en el qual se *le sumerge*, otro tanto como si se añadiese un volúmen de líquido igual al suyo: ahora, los líquidos pesan en razon de su altura perpendicular (294); luego qualquiera que sea la densidad del cuerpo sumergido, con tal que el volúmen sea siempre el mismo, añadirá siempre un mismo peso: no tardaremos en hacer ver, que este peso es igual al del volúmen de líquido desalojado.

319. *Si el cuerpo sumergido es mas pesado que el volúmen de líquido que desaloja, su peso respectivo* (y no su peso absoluto) *le hace caer al fondo del vaso si se le dexa suelto.* La prueba de esto se halla en que para estorbar que caiga el cuerpo, no se necesita un peso igual al suyo, sino solamente un peso igual al exceso de su peso, sobre el del volúmen de líquido desalojado. En efecto, el cuerpo sumergido ocupa el sitio de un volúmen de líquido que se hallaria en equilibrio con lo demas del líquido; luego el volúmen del líquido que está en la parte inferior, no debe ceder su lugar al cuerpo, sino segun el exceso de su peso sobre el del volúmen de líquido: á este exceso pues es á lo que se llama *pe-*

Digitized by Google

so respectivo. De aquí se sigue:

320 *Que un cuerpo sumergido en un fluido pierde una parte de su peso; cuya parte perdida es perfectamente igual al peso del volúmen del fluido desalojado.*

EXPERIMENTO. *a* (*fig.* 43) es un pequeño cilindro sólido de cobre, capaz de llenar exâctamente la caxa *b* debaxo de la qual está suspendido: se pone el cilindro y la caxa en equilibrio en los brazos de una balanza, con el peso *c*, colocado debaxo del otro platillo; y se sumerge el cilindro en el agua: en seguida se verifica el descenso del peso *c*; luego este cuerpo sumergido pierde una parte de su peso. Para restablecer el equilibrio, basta cargar el brazo de la balanza que subió con un volúmen de agua igual al del cilindro *a* sumergido; lo que se hace exâctamente llenando de agua la caxa *b*. Luego este cuerpo sumergido pierde una parte de su peso perfectamente igual al peso del volúmen de agua que desaloja: luego la porcion de su peso que le queda no es mas que su peso respectivo: el único que habria que sostener, si se le quisiera impedir el ir al fondo. En esto se funda la facilidad con que se puede evitar que un hombre se ahogue, por qualquier parte que se le sostenga; pues que su peso respectivo en el agua es de muy poco valor.

321 Se sigue de aquí, *que un cuerpo no cae jamas con toda la intensidad de su peso absoluto* (204), á causa de estar siempre sumergido en un fluido; lo que le hace perder una parte de su peso. Luego no le queda para caer mas que su peso respectivo.

322 Se sigue tambien de aquí, 1.° *que á cantidad igual de materia, ó á pesos iguales, quanto mas volúmen tienen los cuerpos, mas pierden de su peso por la inmersion*, á causa de que entónces desalojan un volúmen mas grande de líquido.

Digitized by Google

323 2.° *Que quanto mas densidad tiene el líquido en que el cuerpo está sumergido, mas pierde de su peso este cuerpo con la inmersion*; á causa de que entónces desaloja un volúmen de líquido que tiene mas peso. Ahora, el peso de este volúmen de líquido desalojado es el que determina la porcion de su peso que pierde el cuerpo sumergido (320); luego un cuerpo perderá una porcion mayor de su peso en el agua que en el espíritu de vino; y mucho mayor aun en el mercurio.

324 *Si un cuerpo es ménos pesado que un igual volúmen de líquido en el qual esté sumergido, sobrenada en parte; y lo que queda sumergido desaloja una cantidad de líquido, que pesa tanto como el cuerpo entero.*

Experimento. Echese agua en un vaso de cristal que tenga una llavecilla en lo baxo (*fig.* 44); y señálese con una lista de papel la altúra á que llega el agua en el vaso: métase en seguida en él una bola de madera de bastante diámetro, la qual sobrenadará; y su parte sumergida, hará elevar al agua del vaso, tanto como si se le hubiera añadido un volúmen de agua igual al volúmen de la parte sumergida: en seguida quítese agua del vaso, por medio de la llavecilla *a*, hasta que la superficie baxe á la señal adonde se hallaba anteriormente; y es claro que se habrá quitado un volúmen de agua igual al volúmen de la parte de bola sumergida; lo qual se comprueba poniendo este volúmen de agua en un brazo de la balanza, y en otro la bola de madera, cuyas dos cosas se equilibran mútuamente. Luego pesa tanto el uno como el otro. Luego, &c.

325 Luego un barco sumergido en el agua, desaloja una cantidad de este fluido que pesa precisamente tanto como él, y toda su carga; y si se le

Digitized by Google

carga mas se sumerge á proporcion; siendo tanto mas grande su parte sumergida quanto mas cargado está, ó quanto el agua tiene ménos densidad. Luego se sumerge ménos en el agua del mar que en el agua dulce: luego, si un barco debe caminar alternativamente ya sobre el mar, ya sobre agua dulce, es preciso no cargarle tanto como podria estarlo sobre el mar; á causa de que se sumergiria en el agua dulce.

Sobre el principio establecido arriba (324) está fundado el uso del pesa-licor, ó aerometro.

326 Es el pesa-licor un instrumento por cuyo medio se conoce la diferencia del peso específico de los líquidos. El pesa-licor mas sencillo, y que se usa con mas freqüencia, consiste en una esferilla de cristal delgado *b* (*fig.* 45), hecha al soplete, y de la que el cuello *a c*, que es largo, y de un diámetro pequeño, está dividido en toda su longitud en partes iguales. A fin de que este instrumento pueda mantenerse enmedio de los líquidos en una situacion vertical, se hace de modo que el centro de gravedad se halle hácia la parte inferior; para lo qual se adapta debaxo de la bola *b* otra esferilla *b* hecha al soplete, en la qual se pone mercurio. Es preciso tener cuidado de no poner mas que una cantidad tal, que el pesa-licor entero no pese tanto ni con mucho, como un volúmen de los líquidos que se quiere exâminar por su medio, igual al volúmen del mismo pesa-licor.

327 Así construido el pesa-licor, se le sumerge en los líquidos que se quiere comparar; y como le suponemos mas ligero que un volúmen del líquido igual al suyo, no se sumerge enteramente; por la razon de que los cuerpos sólidos, sumergidos en los líquidos, cesan de sumergirse en ellos, luego que han desalojado una cantidad de líquido cuyo peso

Digitized by Google

iguala al suyo (324). Luego los cuerpos sólidos se sumergen en los líquidos tanto mas profundamente, quanto el líquido es mas ligero, ó quanto ménos densidad tiene; y al contrario se sumergen tanto ménos profundamente, quanto el líquido es mas pesado, ó quanto mas densidad tiene. De modo que si el peso del pesa-licor es tal que se sumerge en el agua hasta *e*, se sumergirá mas profundamente en los líquidos mas ligeros: en el vino, por exemplo, hasta *f*; en el espíritu de vino hasta *g*, &c. Pero si se le sumerge en líquidos mas pesados que el agua, no se sumergirá en ellos tan profundamente como *e*: en la cerbeza v. g. no se sumergirá mas que hasta *d*, y siempre tanto ménos quanto el *líquido* en que se le sumerja sea mas denso, y por conseqüencia mas pesado.

328 Por este medio se conocerá si un líquido es mas ó ménos pesado que otro con quien se le compara; pero no se conocerá el quanto, porque para esto seria necesario conocer exâctamente la relacion que hay entre el tubo *a c*; y las esferas *b* y *b*; lo qual es imposible segun la construccion dicha arriba (326); y á mas seria necesario que el tubo *a c* fuese perfectamente cilíndrico; lo que no sucede jamas. El medio mas seguro de adquirir este conocimiento exâcto, es el de obrar siempre baxo volúmenes iguales; para lo qual es preciso hacer uso del pesa-licor de *Farenheit*, que es, sin contradiccion, el mejor de todos los que se han inventado hasta el dia.

329 El pesa-licor de *Farenheit* (*fig.* 46) está compuesto de una botellita oval de cristal delgado *b*, hecha al soplete, á cuyo cuello *a c*, que es de un diámetro pequeño, está sobrepuesto un platillo *d e*, destinado para recibir unas pesas pequeñas: está lastreado el instrumento por medio de una esferilla

Digitized by Google

hueca de cristal *f*, unida á su parte inferior, y en la qual se echa mercurio; y poniendo una señal fixa *a'* en el cuello, el instrumento queda construido.

330 Para hacer uso de este pesa-licor, es preciso comenzar por conocer exâctamente su peso, el que se podrá señalar en la parte superior de él, con el intento de que no se olvide: se sumerge en seguida el instrumento en agua destilada, y cargándole con algunas pesas se le hace sumergir hasta la señal *a'*; y la suma de las pesas que se ha puesto en el platillo *d e* para producir esta inmersion, unida al peso del pesa-licor, da exâctamente el peso del volúmen de agua medida con el instrumento (324). No hay mas que hacer la misma operacion sobre otro qualquier líquido que se quiera, y se tendrá con la misma exâctitud el peso del volúmen de este líquido medido por el pesa-licor. Ahora, es claro que estos dos volúmenes son perfectamente iguales, pues que estan medidos con el mismo instrumento; luego la diferencia de sus pesos dará la diferencia de sus pesos específicos, ó la relacion de sus densidades. Para conocer esta relacion, se hará la proporcion siguiente: el peso específico de este licor es al del agua destilada, como el peso del volúmen de este líquido, medido con el pesa-licor, es al peso del volúmen de agua, medido tambien con el mismo instrumento; y si se conoce exâctamente el peso específico del uno, se conocerá por él el peso específico del otro, así como el de todos los líquidos que se quiera exâminar del mismo modo.

Si se quiere tomar idea de las diferentes especies de pesa-licores inventados hasta el dia, se hallará la descripcion exâcta de ellos en mi *Diccionario razonado de Física*, *tom.* 1.º

331 Por los principios que dexamos establecidos arriba (315, y 320), se puede conocer el peso es-

Digitized by Google

pecífico de los cuerpos, ya sean sólidos, ya fluidos; cuyo peso específico es el peso que tiene un cuerpo baxo un volúmen conocido y determinado, como por exemplo, un pie cúbico. Para adquirir este conocimiento, se pesa los cuerpos hidrostáticamente, es decir, primero en el ayre, y despues en el agua; en cuyo caso es preciso hacer uso del agua destilada, á fin de estar seguro de que en todas las operaciones es una misma la que se emplea; y hacer de modo que este agua se halle en todos los experimentos con un mismo temperamento. Se sabe que un cuerpo sumergido en el agua, desaloja un volúmen de este fluido perfectamente igual al suyo (315), y que entónces pierde una porcion de su peso perfectamente igual al peso del volúmen de agua que desaloja (320). Luego se tiene por este medio, 1.° el peso de este cuerpo, 2.° el peso de un volúmen de agua perfectamente igual al volúmen de este cuerpo; cuyos dos pesos, comparados el uno con el otro, dan la relacion que hay entre el peso específico de este cuerpo y el del agua (de la que yo supongo conocido el peso específico), haciendo esta proporcion, en la qual 10000 representa el peso específico del agua: el peso del volúmen de agua desalojada por este cuerpo, es al peso de este cuerpo, como 10000 es al quarto término, el qual dará el peso específico del cuerpo que se exâmina.

No dexa de haber algunas dificultades para hacer con exâctitud estos experimentos: si se quiere saber quales son estas dificultades, así como los medios de precáverlas, se hallará las unas y los otros exâctamente detallados en el *discurso preliminar* de mi obra sobre el *peso específico de los cuerpos.*

332 De lo que acabamos de decir, se sigue, 1.° *que quando dos cuerpos son iguales en volúmen, sus pesos específicos son el uno al otro como sus ma-*

Digitized by Google

sas. Así, un cuerpo es de un peso específico duplo del de otro, quando tiene, baxo el mismo volúmen, dos vecés tanta masa como este otro.

333 2.° *Quando dos cuerpos pierden pesos iguales en una misma agua, sus volúmenes son seguramente iguales*, qualquiera que sea la figura que tengan; pues que siempre pierden pesos iguales á los pesos de los volúmenes de agua que desalojan (320).

334 3.° *Los pesos específicos de los cuerpos que tienen un mismo peso, estan en razon recíproca de sus volúmenes.* Así, un cuerpo es de un peso específico duplo del de otro cuerpo, quando con el mismo peso no tiene mas que la mitad del volúmen del otro cuerpo.

335 4.° *Los pesos específicos de los cuerpos estan en razon compuesta de la razon directa de sus masas, y de la razon recíproca de sus volúmenes.* Esta proposicion es una conseqüencia necesaria de las dos precedentes (332, 334).

336 5.° *Un mismo cuerpo perderá una porcion mayor de su peso en un fluido específicamente mas pesado, que en otro mas ligero*; pues que perderá siempre una porcion de su peso igual al peso del volúmen de fluido que desaloja (320). Luego es preciso mas fuerza para sostenerle en un fluido mas ligero, que para sostenerle en otro mas pesado; así, mas fuerza se necesita para sostenerle en el ayre, que para sostenerle en el agua.

337 6.° *Los pesos específicos de cuerpos igualmente pesados son recíprocamente como las cantidades de sus pesos que pierden en un mismo fluido.* Así, si de dos cuerpos de pesos iguales, el uno pierde $\frac{1}{5}$ y el otro $\frac{2}{5}$ de su peso en un mismo fluido, el peso específico del primero es al del segundo, co-

Digitized by Google

mo 2 es á 1; en razon recíproca de las pérdidas de peso.

338 7.° *Si un cuerpo tiene el mismo peso específico que un fluido, y se le sumerge en él, quedará inmóvil á qualquier profundidad del fluido que se le coloque*; pues que allí estará en equilibrio.

339 8.° *Si un cuerpo específicamente ménos pesado que un fluido, está enteramente sumergido en él, y se le suelta, subirá con una fuerza igual al exceso del peso de un volúmen de este fluido igual al suyo, sobre el peso de este cuerpo.* Esta es la razon de que se eleven en el ayre los globos aërostáticos.

340 9.° *El peso específico de un sólido es al peso específico de un fluido mas pesado, y sobre el qual nade este sólido, como el volúmen de la parte sumergida es al volúmen del cuerpo entero.* Así, si el volúmen de la parte sumergida es al volúmen del cuerpo entero, como 2 es á 3; el peso específico de este sólido es al del fluido, como 2 es á 3.

341 10.° *Dados el peso y el volúmen de un cuerpo, y tambien el peso de un fluido, específicamente mas pesado que este cuerpo, hallar la fuerza necesaria para tener este cuerpo enteramente sumergido en el fluido.*

Como esta fuerza es igual al peso respectivo del fluido (319); se puede hallar, por regla de tres, y por medio del volúmen dado del sólido y del peso conocido de un pie cúbico, v. g. del fluido, el peso de un volúmen del fluido igual al volúmen del sólido; y quitando de este peso el peso del sólido, dará el resto la fuerza pedida. Supongamos por exemplo, que se pregunta qual es la fuerza necesaria para sostener sumergido en el agua un sólido de 27 pies cúbicos de volúmen, y de 1000 libras de peso. Pues que un pie cúbico de agua pesa 70 libras, el peso de 27 pies cúbicos de agua será 1890 libras:

Digitized by Google

quítese de esta cantidad las 1000 libras que pesa el sólido, y las 890 restantes son la fuerza necesaria para sostener al sólido sumergido en el agua, y estorbarle que suba.

342 11.° *Dados el peso de un cuerpo, que debe estar construido de una materia específicamente mas pesada que un fluido, y el peso de este fluido específicamente mas ligero, determinar la cavidad que deberá tener el cuerpo para nadar sobre el fluido.*

Dado el peso de un pie cúbico de fluido, se encuentra, por regla de tres, el volúmen de la porcion de fluido igual en peso á la del cuerpo. Luego si se hace la cavidad del cuerpo tal que el volúmen sea un poco mas grande que el volúmen hallado, tendrá el cuerpo ménos peso baxo el mismo volúmen que el fluido; y por conseqüencia será específicamente ménos pesado; luego nadará sobre el fluido. Supongamos por exemplo, que se quiera hacer una bola de hierro de 210 libras de peso, y que tenga un volúmen tal que pueda nadar sobre el agua. Pues que el peso de un pie cúbico de agua es 70 libras, un volúmen de agua igual en peso á 210 libras, será de 3 pies cúbicos: se hallará fácilmente qual debe ser el diámetro de una esfera, para que tenga 3 pies cúbicos de solidez. En seguida se construirá la bola de hierro de modo que quede hueca en lo interior, y que su diámetro sea mas grande que el diámetro hallado: si se da á esta bola 1 pie y 0,8 de pie de diámetro, sobrenadará. Luego para que un cuerpo sobrenade, no se necesita que sea de una materia en sí misma mas ligera que el agua; sino que es suficiente el darle un gran volúmen y poca masa. Así, aunque el cobre sea cerca de ocho veces tan pesado como el agua, no impide esto para que se hagan góndolas de este metal, que son uti-

Digitized by Google

lísimas en los exércitos para la pronta formacion de los puentes por donde deben pasar las tropas.

Fenómenos de los tubos capilares.

343 Se llama *tubos capilares*, á los tubos delgados, ó que no tienen mas que un pequeño diámetro; cuyo nombre les viene sin duda de su semejanza, por su pequeñez, con los cabellos (en latin *capilli*). Sin embargo, no es necesario que sean tan delgados como cabellos: los que se emplea en la física lo son mucho ménos; y aun quando su diámetro interior sea igual á $2\frac{1}{2}$ líneas, se perciben sus efectos. Pueden estar hechos estos tubos de toda suerte de materias, de cristal, de metal, &c. y tener toda suerte de formas. Todos los cuerpos bastante porosos, y capaces de admitir los líquidos en su interior, pueden tambien ser considerados como otros tantos conjuntos de tubos capilares.

344 Colocamos aquí los fenómenos de los tubos capilares, por parecer ser estos unas excepciones en las leyes de la hidrostática. Una de estas leyes (292) es que *todas las partes de un mismo líquido estan en equilibrio entre sí, sea en un solo vaso, sea en muchos que se comuniquen, quando sus superficics superiores estan en un mismo plano paralelo al horizonte.* He aquí lo que sucede con los tubos capilares.

345 1.° Si se mete la extremidad de un tubo capilar en un vaso lleno de líquido, se eleva este inmediatamente en el tubo por encima de su nivel.

346 2.° Si se mete el mismo tubo capilar en diferentes líquidos, todos se elevan en el tubo por encima de su nivel, pero á alturas diferentes; no siendo siempre los ménos pesados los que se elevan á

Digitized by Google

mayor altura; pues que el espíritu de vino se eleva á mucha menor altura que el agua, ácido-nítrico, agua salada, ácido sulfúrico concentrado, orina, &c; y estos últimos que se acaba de nombrar son los que se elevan mas. De adonde se sigue, que los líquidos no se elevan en los tubos capilares en razon inversa de sus densidades; lo que deberia ser si su elevacion fuese un efecto de equilibrio. Y ni aun los mas ligeros son siempre los que se elevan mas; pues que la orina se eleva á mayor altura que el ácido sulfúrico concentrado; lo que hace ver que esta elevacion no sigue regla alguna conocida.

347 3.º Si se mete en un mismo líquido dos tubos capilares de diámetros diferentes, se eleva en ellos el líquido por encima de su nivel á alturas que estan en razon inversa de los diámetros de los tubos.

348 4.º Lo contrario de todo esto sucede con el mercurio; porque si se mete un tubo capilar en un vaso de mercurio, 1.º se mantiene este en el tubo mas baxo que su nivel; 2.º tanto mas baxo, quanto el tubo es mas estrecho; 3.º y este *mas baxo* está en razon inversa de los diámetros de los tubos.

349 Hace mucho tiempo que se busca la razon de estos fenómenos tan contrarios á las leyes de la hidrostática, y tan opuestos á lo que se conoce por otra parte; pero aun no se puede decir que se ha encontrado: las diferentes opiniones que se han propuesto sobre esta materia, se pueden distribuir en tres clases.

350 Comprehende la primera las que atribuyen estos fenómenos á la presion desigual del fluido que rodea al líquido; suponiendo que carga mas libremente, y de un modo mas completo sobre la superficie del vaso *n h* (*fig.* 47.) que contiene el líquido,

que por el orificio superior del tubo sumergido *c.* No se puede atribuir estos efectos á la presion del ayre que respiramos, pues que se verifican los mismos fenómenos en el vacío de *Boyle*; luego es preciso que dependa esto de un fluido mucho mas sutil, del que no negamos la existencia. Pero si esto procediese de la desigualdad de presion de este fluido, deberian elevarse los líquidos, 1.º proporcionalmente á la longitud del tubo, porque si este fluido encontrara en él alguna dificultad, es cierto que padeceria mas en un tubo largo que en uno corto; sin embargo nada de esto se verifica: la elevacion del líquido depende únicamente del diámetro interior del tubo, y en ningun modo de su longitud. 2.º Deberian elevarse los líquidos en razon inversa de sus densidades, y la experiencia prueba, como ya lo hemos insinuado arriba (346), que esto no es así. 3.º Deberia el mercurio elevarse en todos los tubos capilares por encima de su nivel, lo mismo que lo hacen los líquidos; ó bien seria necesario decir, que quando se introduce un tubo capilar en el mercurio, carga este fluido mas libremente por el orificio superior del tubo, que sobre la superficie del vaso; lo que seria un absurdo. 4.º Una prueba bien completa de que estos efectos no dependen de una presion mas ó menos libre, es que, si en lugar de meter el tubo en el líquido, se hace caer una gota ó dos de él por la parte exterior del tubo, y en la direccion de su longitud, luego que han llegado al orificio inferior, suben por lo interior del tubo como en los otros casos. Luego esta opinion nada tiene de concluyente.

351 Comprehende la segunda clase las opiniones de los que pretenden que la columnilla de líquido pierde su peso por su adherencia al tubo, ó por el rozamiento. Estan tan mal concebidas estas opinio-

nes, que apénas merece se responda á ellas. Es cierto, y la experiencia prueba, que para que el líquido suba en un tubo capilar, no es necesario sumergirle en él; sino que basta el que toque á la superficie del líquido lo mas ligeramente que sea posible; en cuyo caso sube el líquido; luego es preciso que haya una causa que le haga subir. Confieso que se concibe fácilmente de que modo una columnilla de líquido, una vez elevada en el tubo capilar, se podrá sostener en él por el rozamiento, ó por su adherencia á las paredes del tubo; pero con la misma facilidad se concibe que este rozamiento, ó esta adherencia, en lugar de hacerle subir, deberia estorbárselo.

352 La tercera clase comprehende las opiniones de los que suponen que el tubo, teniendo mas masa ó densidad que el líquido, le atrae con mas fuerza que con la que se atrae á sí mismo: he aquí la razon, dicen ellos, de que el mercurio se mantenga en los tubos capilares por debaxo de su nivel (348); y es porque se atrae con mas fuerza á sí mismo, que con la que es atraido por los tubos que tienen ménos densidad que él. Pero ¿sobre qué está fundada esta suposicion? ¿y segun quáles leyes obra esta atraccion? Si estas leyes fuesen las mismas que las de la atraccion general descubiertas por *Newton*, 1.° deberian siempre los líquidos ser atraidos en razon inversa de sus masas; esto es, que los ménos densos deberian ser atraidos con ménos fuerza que los mas densos, y por consequiencia elevarse á una altura mas grande; pero freqüentemente se verifica lo contrario; por haber líquidos mas densos, que se elevan á mucha mas altura que otros líquidos ménos densos (346): 2.° la atraccion de los tubos deberia ser proporcional á su masa; pero esto no es así; porque de qualquier materia que se hagan,

Digitized by Google

muchos tubos, con tal que el diámetro interior sea igual en todos, un mismo líquido se elevará en ellos á la misma altura: 3.º deberian mantenerse los líquidos por baxo de su nivel, en tubos hechos de una materia ménos densa que ellos, porque entónces, segun las leyes de la atraccion, los líquidos se atraerian entre sí con mas fuerza que con la que serian atraidos por los tubos; pero sucede lo contrario cada dia. Los cuerpos porosos, á los que se debe mirar como unos conjuntos de tubos capilares, admiten en sus poros, y elevan por encima de su nivel, líquidos mas densos que ellos mismos. A mas, el mercurio que se mantiene por baxo de su nivel en un tubo de cristal (348), por la razon, dicen, de tener el cristal una densidad menor que la suya, deberia por la misma razon mantenerse por baxo de su nivel en un tubo de estaño, que tiene poco mas de la mitad de la densidad del mercurio: pero sucede lo contrario, como yo mismo lo he probado. Habiendo sumergido en el mercurio un tubo pequeño de estaño, de $\frac{1}{4}$ de línea de diámetro, vi elevarse en él el mercurio por lo ménos hasta su nivel; y estoy persuadido á que se elevaria lo mismo en un tubo de oro, de plata, ó de plomo. Parece pues, que en general se elevan los líquidos por encima de su nivel en los tubos que ellos pueden humedecer, ó en los que tienen alguna adherencia con ellos; y esta es una de las razones de que el mercurio se mantenga por debaxo de su nivel en los tubos de cristal, con los quales no tiene adherencia ninguna.

353. ¿Seguirá la atraccion, que se pretende ser la causa de los fenómenos de los tubos capilares, si no la razon de las masas, por lo ménos la razon de las superficies? La experiencia prueba que no; pues que nos manifiesta que los líquidos se elevan en los

tubos capilares en razon inversa de sus diámetros (347); esto es, que si la columna de líquido elevada por encima de su nivel es de 15 líneas de altura, en un tubo de una línea de diámetro, será de 30 líneas de altura en un tubo de ½ línea de diámetro, y así de los demas. Por conseqüencia, la superficie interior del tubo, tocada por el líquido, es en todos de la misma extension, pues que las circunferencias estan en razon directa de los diámetros. Sin embargo, la cantidad de líquido elevada por encima de su nivel es, como se ve claramente, mas considerable en los tubos gruesos que en los delgados, pues que las *solideces* son como los quadrados de los diámetros [1]. Luego la fuerza atractiva no es proporcional á la extension de las superficies atraentes; lo qual deberia ser; ó seria preciso decir que la misma causa no produce constantemente el mismo efecto; lo que no se puede admitir.

354 *Jurin* (*Trans. Phil.* n. 363. art. 2.), segun algunos experimentos, á la verdad muy ingeniosos, pero que, segun su misma confesion, no son de ningun modo concluyentes, creyó no obstante poder concluir que la atraccion del tubo no obra mas que por el círculo anular de la superficie interior en donde se termina la columna de líquido. He aquí sus experimentos.

Experimento. Hizo *Jurin* unir el uno al otro dos tubos capilares *a d*, y *c b* (*fig.* 48), cuyo diámetro del uno *c b* era mucho mas grande que el del otro *a d*. Supongamos que en el grande no pudo elevarse el agua mas que á 6 líneas por encima de su nivel, y en el pequeño á 2 pulgadas: sumergió en el agua el tubo *a b* por el extremo mayor *b*, pero bastante profundamente para hacer llegar el agua

[1] Como los cubos de los diámetros, debe decir.

hasta *d*, esto es, hasta 2 ½ ó 3 líneas en el diámetro pequeño; y entónces pudo levantar, ó sacar fuera del agua 2 pulgadas de la parte de tubo sumergida, sin que el agua cayese, no obstante estar en el tubo mas grueso la mayor parte de esta columna de 2 pulgadas. En seguida sumergió el mismo tubo por el extremo pequeño *e*, y de modo que llegase el agua hasta *f*, esto es, cerca de 2 ó 2½ líneas en el diámetro mayor; y entónces no pudo sacar el tubo mas que á 6 líneas fuera del agua, sin que esta cayese, no obstante hallarse en el diámetro pequeño la mayor parte de esta columna de 6 líneas. De aquí concluyó *Jurin* que la elevacion del *líquido* no depende mas que de la atraccion del *círculo* anular de la superficie interior del tubo, en donde se termina la columna de líquido, pues que esta elevacion varía con el diámetro de este círculo anular.

355 Como el único objeto que se proponia *Jurin* en estos trabajos era el averiguar la verdad, no disimula nada de lo que se puede decir contra su opinion. El experimento precedente (354) puede ser hecho de modo que pruebe demasiado, y que llegue á ser él mismo un nuevo fenómeno que exija una nueva explicacion.

Experimento. En lugar del tubo *a b* (*fig.* 48), empleó un embudo *a b c* (*fig.* 49) que podria tener algunas pulgadas de ancho, y que estaba terminado por un tubo capilar *d*; el qual supondremos ser de un diámetro tal, que pueda el agua elevarse en él á 2 pulgadas por encima de su nivel: si se sumerge este embudo boca abaxo bastante profundamente para que llegue el agua al tubo capilar *d*, se podrá en este caso levantar ó sacar el embudo cerca de 2 pulgadas fuera del agua sin que esta caiga. Si la atraccion del círculo anular sostiene la columna *d a*, ¿quál es la causa que sostiene la gran cantidad de agua

Digitized by Google

que rodea á esta columna? se ha respondido que está masa de agua está sostenida por la atraccion y la adherencia de la parte cóncava *c b* del embudo.

356 Pero *Jurin* destruyó tambien esta explicacion con un nuevo experimento.

EXPERIMENTO. Se sirvió de un embudo, cuya forma era como la del que se representa en la *fig.* 50, y que estaba tambien terminado por un tubo capilar: le sumergió de modo que no se llenase mas que hasta algunas líneas de la parte cóncava: en seguida, mojando la punta del dedo introduxo una gota de agua en el tubo capilar; y en este estado levantó fuera del agua una parte del embudo, tal que quedaba por encima del nivel una columna de una altura igual á la que hubiera podido sostener un tubo capilar del mismo diámetro que el que terminaba el embudo. No se puede decir en este caso, que es la adherencia de la parte cóncava del embudo la que sostiene la columna, pues que no hay contacto ninguno.

357 Si procedemos de buena fe, confesaremos ingenuamente que no estamos aun bastante instruidos en las causas (porque tal vez hay muchas que obran juntas) del ascenso de los líquidos por cima de su nivel, en los tubos capilares. Pero hay algunos hechos constantes que pueden servir para explicar otros; así como la pesantéz, cuya verdadera causa no tenemos bien conocida, sirve para explicar muchos fenómenos. La elevacion de los líquidos en los tubos capilares explica, por que un madero puesto verticalmente se encuentra húmedo hasta el extremo superior, aunque no esté metido en el agua mas que en parte: esto explica tambien como se eleva el xugo desde las raices hasta las extremidades de las ramas de un árbol; en cuyos dos casos hay una grande cantidad de tubos capilares. El cuerpo humano, así

como el de los animales, es una máquina hidraúlica; y en el número quasi infinito de tubos que le componen, el de los capilares es sin comparacion el mas grande. No es pues de maravillar que los fluidos pasen tan prontamente y con tanta facilidad de una parte á otra. Hay un gran número de otros fenómenos que estan apoyados en los de los tubos capilares.

De la Hidraúlica ó del movimiento de los fluidos.

358 Se llama *Hidraúlica*, la ciencia que tiene por objeto el movimiento de los fluidos. De los principios en que está fundada esta ciencia, se sacan los medios de conducir las aguas de un sitio á otro, ya sea por canales, aqüeductos, bombas, y otras máquinas hidraúlicas; y de elevarlas, tanto para formar surtidores de ellas, como para otros usos.

Lo que vamos á decir en este capítulo, se ha extractado en gran parte de la *hidrodinámica* del *Abate Bossùt*, obra en la qual ha dado el pormenor de una série de experimentos que ha hecho sobre esta meteria, y que son muy á propósito para guiar en la práctica. Los resultados de estos experimentos és lo que vamos á presentar aquí.

Salida de los fluidos ó líquidos por orificios pequeños.

359 Quando sale el agua de un vaso en cuyo fondo se ha hecho un agujero que sea pequeño, en comparacion de la anchura del vaso, el agua desciende verticalmente, y la superficie parece plana; pero á 3 ó 4 pulgadas del fondo se apartan de esta direccion las partículas del agua, y salen de todos los lados, con movimientos mas ó ménos oblícuos, dirigiéndose hácia el orificio, sucediendo lo

mismo quando el agua sale por una abertura lateral. La tendencia de estas partículas hácia el orificio es una conseqüencia necesaria de su perfecta movilidad; por la razon de que deben dirigirse hácia el punto que resiste ménos á las fuerzas que las oprimen; y de ser este punto de ménos resistencia el sitio en donde se halla el orificio.

360 2.° A una corta distancia del fondo comienza á formarse una especie de embudo, cuya punta corresponde al centro del orificio; y quando el agua sale por una abertura lateral, no se forma mas que una especie de medio embudo, que no parece comenzar á formarse hasta que la superficie del agua está próxima á tocar el borde superior del agujero. Es probable que el embudo comienza á formarse desde el primer momento de la salida del agua; pero no se hace sensible hasta que la superficie está á una corta distancia del fondo; por la razon de que quando esta superficie está á mayor distancia de él, las partes inferiores oprimidas por las superiores, son llevadas rápidamente en la direccion de la salida del líquido. La verdadera causa de la formacion del embudo es la desigualdad de la presion del ayre por la parte superior é inferior del orificio; á causa de que al caer el agua por este orificio, rechaza al ayre, y destruye una parte de su reaccion.

Parece que esta concavidad ó embudo comienza á formarse á una altura tanto mas grande, encima del fondo del vaso, quanto este fondo tiene mayor anchura; y que la formacion de esta concavidad es ménos pronta ó ménos sensible, á medida que el orificio aumenta, con respecto á la extension del fondo. La aspereza mas ó ménos grande de este y de las paredes del vaso, contribuye tambien para aumentar mas ó ménos esta concavidad.

361 La velocidad del agua, á la salida de un vaso por un agujero pequeño hecho en su fondo, es igual á la que adquiriria un cuerpo grave cayendo de la altura vertical de la superficie del fluido encima del orificio (255); y esta velocidad es igual al duplo de esta altura.

362 Lo mismo se verifica por un orificio lateral; por la razon de ser igual la presion del fluido, siendo una misma la profundidad, en toda suerte de direcciones (288); en cuya conseqüencia debe producir la misma velocidad.

363 Al salir del orificio el líquido, tiene una velocidad capaz de hacerle subir á una *altura vertical* igual á la de la superficie del fluido encima del *orificio*: del mismo modo que un cuerpo, al caer por su pesantéz de una cierta altura, adquiere una velocidad capaz de hacerle subir á esta altura (255).

364 Se ve del mismo modo, por la teoría de la caida de los graves (217), que si la velocidad del líquido, al salir del orificio, continuase uniformemente, correria el líquido un espacio duplo de su altura por cima del orificio, durante el mismo tiempo que emplearia un cuerpo pesado en caer de esta altura.

365 Siendo una misma esta altura, será siempre una misma la velocidad del fluido, al salir del orificio, qualquiera que sea la especie de este fluido, y qualquiera que sea su densidad; pues que tiene constantemente por valor la velocidad debida á esta altura. Es verdad que quando el líquido tiene mas densidad, oprime con mayor fuerza; pero tambien la masa desalojada es mas considerable. En general, es evidente que quando las fuerzas motrices son proporcionales á las masas á quien ponen en movimiento, las velocidades son iguales.

Digitized by Google

366 Las cantidades de líquido que salen en un mismo tiempo por orificios diferentes, cada uno baxo alturas ó cargas constantes (suponiendo por consequëncia que los vasos se mantengan igualmente llenos por todo el tiempo que dure la salida del líquido), son entre sí como *los productos de las areas de los orificios por las raices quadradas de las alturas.* Por exemplo, la experiencia manifiesta que un orificio circular de una pulgada de diámetro, hecho en una pared delgada, baxo 4 pies de carga, da en un minuto de tiempo 5436 pulgadas cúbicas de agua. Si se quiere saber lo que dará, en el mismo tiempo, un orificio circular de 2 pulgadas de diámetro, baxo 9 pies de carga, se hará la proporcion siguiente $1\times\sqrt{4}:4\times\sqrt{9}::5436:x=32616$; ó $2:12::5436:32616$; cuya última cantidad de pulgadas cúbicas de agua es la que dará el orificio de dos pulgadas de diámetro, baxo 9 pies de carga. Es preciso tener presente que un orificio de un diámetro duplo es 4 veces tan grande como un orificio de un diámetro simple; por la razon de que las areas de los círculos son como los quadrados de los diámetros.

367 Si se llena de agua un vaso prismático, y se le dexa vaciar enteramente por un orificio hecho en su fondo, midiendo el tiempo que emplee en vaciarse; y si en seguida habiéndole llenado de nuevo, se le mantiene constantemente lleno, en tanto que el agua sale por el orificio, saldrá, en este segundo caso, y durante el mismo intervalo de tiempo que empleó primero el vaso en vaciarse enteramente, una cantidad de agua dupla de la que salió en el primer caso, prescindiendo de la concavidad ó embudo (360), que no se verifica en este segundo caso.

Digitized by Google

368 En la práctica sale freqüentemente el agua por aberturas laterales; las quales aunque pequeñas en comparacion de las anchuras de los depósitos, no pueden sin embargo ser consideradas como si tuviesen todos sus puntos á iguales distancias de la superficie del fluido: tales son por exemplo las aberturas ó agujeros que hay en los molinos. El método ordinario de determinar en este caso la salida del líquido se saca del razonamiento siguiente: concibamos desde luego que el orificio esté tapado con una plancha, y que se abran en seguida en esta plancha un gran número de agujeros, por los quales salga el agua: mirando cada uno de estos agujeros como un orificio particular y aislado, la *velocidad* que tendrá cada uno se deberá á la altura correspondiente del fluido. Luego, si se multiplica al infinito el número de agujeros, ó lo que viene á ser lo mismo, si se imagina que se quite la plancha entera, la velocidad, en cada uno de los puntos del orificio propuesto, se deberá á la altura correspondiente del fluido; y será preciso llevar en cuenta esta desigualdad de volocidades en la determinacion de la cantidad de agua que haya salido.

369 Sin embargo, hágase atencion á que este razonamiento no es bastante concluyente: en tanto que la suma de agujeritos hechos en la plancha sustituida al orificio, es muy pequeña en comparacion de la anchura del depósito, las porciones de líquido que salen por cada agujero, son impelidas y arrojadas por los pesos absolutos de las columnas superiores: pero desde el momento en que aumenta al infinito el número de los agujeros, y en que los filetes de fluido llegan á estar contiguos los unos á los otros, ya no se puede percibir con claridad, como deben salir del mismo modo que si saliesen por

Digitized by Google

agujeritos aislados. Sin embargo, como esta hipótesis da resultados bastante conformes con la experiencia, puede ser útil el conservarla, tanto mas quanto conduce á unos cálculos muy sencillos, y quanto en las qüestiones usuales es preciso buscar esta sencillez tanto como sea posible.

370 La cantidad de agua que sale por estos orificios, en un tiempo dado, no es tan grande como parece prometerlo la magnitud de su abertura; á causa de contraerse la vena fluida al salir del orificio, hasta una distancia que es igual sobre corta diferencia á la mitad del diámetro del orificio; y el diámetro de la vena contraida es al diámetro del orificio como un poco mas de 3 á 4, ó como $3\frac{1}{6}$ á 4, ó 19 á 24. De modo que su area es á la del orificio como 10 es á 16; siendo poco mas ó ménos la misma cosa quando el agua sale por aberturas laterales. La contraccion de la vena fluida es una prueba de lo que hemos dicho arriba (359), á saber, que en lo interior del vaso se dirigen las partículas laterales hácia el orificio siguiendo unos movimientos mas ó ménos obliquos; y este movimiento obliquo puede descomponerse en otros dos, el uno paralelo al plano del orificio, y que comprime la vena fluida, y el otro perpendicular al mismo plano, y el solo que produce la salida.

371 Se verifica tambien esta contraccion quando se hace salir el agua por tubos; lo qual se efectua á la entrada del agua en estos tubos, y no á su salida, en donde la vena fluida conserva la forma cilíndrica. Se verá mas adelante que esta contraccion disminuye, de un modo sensible, las cantidades de agua que deberian salir naturalmente por estos tubos.

372 Para asegurarse de todos estos hechos con

Digitized by Google

los experimentos, se ha hecho un gran número de ellos; cuyos resultados solo es lo que presentamos aquí. En todos los casos, los orificios por los quales se verificó la salida del líquido, estaban abiertos bien perpendicularmente en unas planchas de cobre de cerca de $\frac{1}{2}$ línea de grueso; y los tiempos de las salidas en cada experimento, se han reducido á un minuto.

Digitized by Google

373 *Altura constante del agua por encima del centro de cada orificio* = 11 pies, 8 pulgadas y 10 líneas.	*Número de pulgadas cúbicas que salièron en un minuto.*
EXPER. 1.° Por un orificio horizontal y circular de 6 líneas de diámetro....	2311
2.° Por un orificio horizontal y circular de 1 pulgada de diámetro...	9281
3.° Por un orificio horizontal y circular de 2 pulgadas de diámetro..	37203
4.° Por un orificio horizontal y rectangular de 1 pulgada de longitud por 3 líneas de ancho.....	2933
5.° Por un orificio horizontal y quadrado de 1 pulgada de lado.....	11817
6.° Por un orificio horizontal y quadrado de 2 pulgadas de lado.....	47361
Altura constante = 9 pies.	
7.° Por un orificio lateral y circular de 6 líneas de diámetro.....	2018
8.° Por un orificio lateral y circular de 1 pulgada de diámetro.....	8135
Altura constante = 4 pies.	
9.° Por un orificio lateral y circular de 6 líneas de diámetro.....	1353
10.° Por un orificio lateral y circular de 1 pulgada de diámetro.....	5436
Altura constante = 7 líneas.	
11.° Por un orificio lateral y circular de 1 pulgada de diámetro....	628

Digitized by Google

374 Se sigue de estos experimentos, 1.° que *los gastos de agua hechos en tiempos iguales por diferentes orificios baxo una misma altura de agua en el depósito, son entre sí, sobre corta diferencia, como las areas de estos orificios.* Compárese los resultados del 2.° y 3.° experimento, cuyas areas de los orificios estan en la razon de 1 á 4; y se encontrará que los dos gastos de agua, 9281 pulgadas cúbicas y 37203 pulgadas cúbicas, estan con corta diferencia, en la misma razon:

375 2.° Que *los gastos de agua hechos en tiempos iguales por una misma abertura, baxo diferentes alturas de depósitos, son entre sí, poco mas ó ménos, como las raices quadradas de las alturas correspondientes del agua en el depósito por cima de los centros de las mismas aberturas.* Compárese los resultados del 8.° y 10.° experimento, en los que las alturas de los depósitos son 9 pies y 4 pies, cuyas raices quadradas son 3 y 2; y se encontrará que los dos gastos, 8135 pulgadas cúbicas, y 5436 pulgadas cúbicas, que hace un mismo orificio de 1 pulgada de diámetro, baxo 9 pies y 4 pies de carga, estan entre sí sensiblemente en la razon de 3 á 2:

376 3.° Que en general *las cantidades de agua gastadas, durante un mismo tiempo, por diferentes aberturas, y baxo diferentes alturas de depósitos, estan entre sí en razon compuesta de las areas de las aberturas, y de las raices quadradas de las alturas de los depósitos;*

377 4.° Pero que *el rozamiento es causa de que entre muchos orificios de figuras semejantes, los pequeños hagan ménos gasto á proporcion de los grandes, baxo una misma altura de agua en el depósito;* á causa de que comparativamente á la extension del area de cada orificio, hay mas puntos que se rozan contra las orillas del orificio en los pequeños, que

Digitized by Google

los que hay en los grandes; por no disminuir tanto las circunferencias como las areas.

378 5.° *Que entre muchos orificios de areas iguales, aquel cuyo perímetro es el menor, debe, á causa del rozamiento, haver mas gasto de agua que los otros, baxo una misma altura de depósito.* Así, los orificios circulares son con respecto á esto, los mas ventajosos de todos; por ser la circunferencia del círculo la mas corta de todas las líneas que se puede elegir para cerrar un espacio dado; luego hay en ella ménos superficie para el rozamiento relativamente á la magnitud del area.

379 Es fácil de ver que las cantidades de agua gastadas en los experimentos de arriba (373), no son con mucho tan grandes como deberian serlo, segun la extension de las areas de las aberturas, y las alturas de los depósitos: el rozamiento, y sobre todo la contraccion de la vena fluida (370), disminuyen mucho el gasto; por la razon de que la velocidad debida á la altura entera del fluido en el depósito, no se altera sensiblemente. La diferencia de estos gastos de agua, suponiendo, 1.° que el area de la vena fluida es la misma que la del orificio, 2.° que esta vena fluida está contraida; esta diferencia, digo, es poco mas ó ménos como 16 á 10; esto es, que suponiendo disminuida el area del orificio en la razon de 16 á 10 (370), se podrá determinar bastante exâctamente las evacuaciones de los fluidos que salen de vasos que se mantienen igualmente llenos. Mas adelante (397) daremos una tabla de estas diferencias.

380 Se llama *pulgada de agua*, la cantidad que sale por un orificio circular y lateral de una pulgada de diámetro; manteniendo constantemente la superficie del agua á 7 líneas por cima del centro de este orificio; cuyo caso es el del 11.° expe-

Digitized by Google

rimento, en donde se ve que la cantidad de agua gastada en un minuto es 628 pulgadas cúbicas, que hacen $13\frac{1}{12}$ pintas de Paris, de las que cada una contiene 48 pulgadas cúbicas, ya que el pie cúbico consta de 36 pintas. *Mariotte*, que hizo el mismo experimento, halló que el gasto era un poco mayor; pero es probable padeciese alguna equivocacion; á causa de que el 11.º experimento que se acaba de citar, se ha hecho con el mayor cuidado. En lugar de pesar 2 libras una pinta de agua, como comunmente se cree, no pesa mas que una libra, 15 onzas y 66 granos.

Evacuaciones de los fluidos ó líquidos por tubos, ó caños aditicios.

381 Quando en lugar de hacer salir el agua de un vaso por un orificio hecho en una pared delgada, se le hace salir por un cabo de caño vertical aditicio, del mismo diámetro que el orificio, el gasto del agua es mas considerable; porque la contraccion de la vena fluida (370) es mas grande en el primer caso que en el segundo, como lo va á acreditar la experiencia.

382 La altura constante del agua en el depósito, por cima de la base superior del tubo aditicio vertical, es de 11 pies, 8 pulgadas, 10 líneas, y el diámetro del tubo de una pulgada.

Digitized by Google

383 Alturas variables del tubo expresadas en líneas:			Número de pulgadas cúbicas de agua gastadas en un minuto.
Exper. 1.°	48 lín.	Saliendo el agua á caño lleno.	12274
2.°	24		12188
3.°	18		12168
4.°	18	No siguiendo el agua las paredes.	9282

384 Se ve que quanto mas largo es el tubo vertical, mayor es el gasto de agua, por ser menor la contraccion de la vena fluida; como se advertirá comparando los tres primeros experimentos: pero siempre hay contraccion, aunque parezca que sale el agua á caño lleno.

385 Si se compara las cantidades de agua gastadas en el 3.° y 4.° experimento, se ve que los dos gastos, 12168 pulgadas cúbicas, y 9282 pulgadas cúbicas, estan entre sí, sobre corta diferencia, en la razon de 13 á 10. Ahora, hemos visto arriba (370) que saliendo el agua por un orificio hecho en una pared delgada, si la vena fluida no se contraía, seria el gasto por este orificio al gasto por este mismo orificio, contrayéndose la vena fluida, sobre corta diferencia, como 16 es á 10; luego se debe concluir de aquí, que *siendo la misma la altura del agua en el depósito y el orificio de salida, el gasto por un orificio hecho en una pared delgada, y en el qual no haya contraccion de vena, el gasto por*

Digitized by Google

un cabo de caño aditicio, y el gasto por un orificio hecho en una pared delgada, y en el qual hay contraccion de vena, son entre sí, sobre corta diferencia, como los tres números 16, 13, 10; cuyas razones son bastante exâctas para la práctica.

386 Esto prueba, que los tubos aditicios no destruyen sino en parte la contraccion de la vena fluida. La mas sencilla de todas, y que por esta razon se llama *contraccion de la primera especie*, es la que se verifica al salir el líquido por un orificio pequeño hecho en una pared delgada de un gran depósito.

387 Si en lugar de estar vertical, *ó colocado* en el fondo del depósito el caño aditicio, estuviera horizontal, ó colocado en el lado del depósito, daria la misma cantidad de agua, con tal que tuviese siempre la misma longitud, y que el orificio exterior estuviese colocado á la misma profundidad por baxo de la superficie del agua del depósito.

388 Si en lugar de ser cilíndrico el tubo aditicio fuera cónico, daria una cantidad mas grande de agua, quando su mayor base estuviese hácia la parte del depósito. La forma mas ventajosa que se puede dar á un tubo aditicio, para tener la mayor cantidad de agua en un tiempo dado, por un orificio determinado, es la que toma naturalmente la vena fluida á la salida de un orificio hecho en una pared delgada: esto es, que es preciso dar á este tubo la forma de un cono truncado, cuya base menor tenga por diámetro el del orificio por el qual se desea que se verifique la evacuacion. Es preciso á mas, que el area de la base ménor sea al area de la mayor, como 10 es á 16; y que la distancia de una base á otra sea igual, poco mas ó ménos, al semi-diámetro de la base mayor; pudiéndose dexar con la forma cilíndrica ó prismática, el resto de la

Digitized by Google

longitud del tubo; en cuyo caso será tan abundante la evacuacion, como la que se verificaria por un orificio igual á la base menor, hecho en una pared delgada, y en el que la vena fluida no sufriese contraccion alguna.

389 Esta forma de tubo puede tener su aplicacion en la práctica, quando se trata de sacar una cierta cantidad de agua de un rio, de un aqüeducto, &c. por un canal ó cañería lateral.

390 Si comparamos ahora las evacuaciones hechas por tubos aditicios de diferentes diámetros, y baxo diferentes alturas de depósitos, tendremos los resultados siguientes; advirtiéndose, que los tubos aditicios tienen 2 pulgadas de largo, y que estan verticales, ó colocados en el fondo del depósito.

391 Altura constante del agua por cima del orificio.	Diámetros de los tubos expresados en líneas.	Número de pulgadas cúbicas gastadas durante un minuto.
Exper. 1.º	6 Saliendo el agua á caño lleno.	1689
2.º 3 pies, 10 pulgadas, ó 3.º 552 líneas.	10 Saliendo el agua á caño lleno.	4703
	6 No siguiendo el agua las paredes.	1293
4.º	10 No siguiendo el agua las paredes.	3598
5.º	6 Saliendo el agua á caño lleno.	1222
6.º 2 pies, 6 7.º 288 líneas.	10 Saliendo el agua á caño lleno.	3402
	6 No siguiendo el agua las paredes.	935
8.º	10 No siguiendo el agua las paredes.	2603

Digitized by Google

392 Resulta de estos experimentos, 1.° que *los gastos por diferentes tubos aditicios, baxo una misma altura de agua en el depósito, son sensiblemente proporcionales á las áreas de los orificios, ó á los quadrados de sus diámetros*:

393 2.° Que *los gastos por tubos aditicios de un mismo diámetro, baxo diferentes alturas de agua en el depósito, son sensiblemente proporcionales á las raices quadradas de las alturas de los depósitos*:

394 3.° Que en general, *los gastos hechos, durante un mismo tiempo, por diferentes tubos aditicios, baxo diferentes alturas de agua en el depósito, son entre sí, con corta diferencia, como los productos de los quadrados de los diámetros de los tubos por las raices quadradas de las alturas de los depósitos.*

395 Se ve por lo dicho, que las evacuaciones por tubos aditicios siguen entre sí las mismas leyes, que las que siguen las evacuaciones que se hacen por orificios hechos en paredes delgadas (374 y *siguientes*).

396 De todos estos experimentos se puede formar la tabla siguiente de los gastos de agua, por un orificio dado, hecho en una pared delgada; suponiendo que la vena fluida no padezca contraccion alguna; ó por el mismo orificio, con contraccion de vena; ó por el mismo orificio, colocado en él un tubo aditicio.

Digitized by Google

397 Alturas constantes del agua en el depósito, por cima del orificio, expresadas en pies.	Gastos de agua durante un minuto, por un orificio de una pulgada de diámetro sin contraccion de vena, expresados en pulgadas cúbicas.	Gastos de agua durante un minuto, por un tubo aditicio de una pulgada de diámetro, y 2 pulgadas de largo, expresados en pulgadas cúbicas.	Gastos de agua durante un minuto, por un orificio de una pulgada de diámetro, con contraccion de vena, expresados en pulgadas cúbicas.
1	4381	3539	2722
2	6169	5002	3846
3	7589	6126	4710
4	8763	7070	5436
5	9797	7900	6075
6	10732	8654	6654
7	11592	9340	7183
8	12392	9975	7672
9	13144	10579	8135
10	13855	11151	8574
11	14530	11693	8990
12	15180	12205	9384
13	15797	12699	9764
14	16393	13197	10130
15	16968	13620	10472

Digitized by Google

De los surtidores.

398 Qualquiera que sea la direccion de un surtidor, siempre es el mismo el gasto de agua que hace, con tal que la salida y la altura del depósito, por cima del orificio, sean las mismas; lo qual es una conseqüencia necesaria de la presion igual de los fluidos en todas direcciones (288).

399 Al salir el agua por un caño qualquiera muy chico, tiene una velocidad capaz de hacerla subir á la altura de la superficie del agua en el depósito (363): así, el agua de los surtidores *verticales* se elevaria, si no hubiera obstáculo que *se lo estorbase*, á toda la altura de sus depósitos.

Hay muchas causas que concurren á disminuir la elevacion del agua en los surtidores verticales: 1.° el rozamiento en los encañados ó tubos desde el depósito hasta la salida (434); 2.° el rozamiento contra el circuito del orificio; 3.° la resistencia que opone el ayre al movimiento de la columna de agua; 4.° el peso de las partículas del agua, que han perdido su velocidad al subir, y que caen sobre las que estan subiendo aun; porque inclinando un poco el surtidor, se eleva el agua á una altura un poco mayor que á la que se eleva quando está exâctamente vertical; pero en este caso, no produce un efecto tan agradable á la vista como quando cae el agua perpendicularmente sobre sí misma.

400 Quando el surtidor se dirige obliqüamente al horizonte, la fuerza de proyeccion, y la pesantéz del agua, obligan á este fluido á describir sensiblemente una parábola (275), cuya amplitud es tanto mas grande, quanto la altura del depósito es mas considerable; por ser proporcional la una á la otra.

Digitized by Google

401 Quando se coloca el surtidor en situacion horizontal, describe el agua una semiparábola.

402 Se eleva el agua en los surtidores á una altura tanto mas grande quanto mayores son las aberturas de los caños; porque dos surtidores de agua que proceden de un mismo depósito, salen por sus caños respectivos con velocidades iguales; pero el mas grueso, 1.° sufre ménos rozamiento; 2.° tiene mas masa, y por conseqüencia mas fuerza para vencer los obstáculos. Pero aunque el agua de los caños gruesos se eleve á mayor altura que la de los delgados, no por esto gastan á proporcion mas agua que estos últimos; á causa de que el gasto es como el producto de la abertura del orificio por la velocidad al salir del caño (364); cuya velocidad es sensiblemente la misma en ámbos casos, prescindiendo de los rozamientos.

403 Para que el agua de los surtidores se eleve en los caños gruesos á mayor altura que en los delgados, es preciso, no obstante, que los encañados sean bastante gruesos para conducir las aguas con una abundancia suficiente; por la razon de que si son muy estrechos, prueba la experiencia que los surtidores delgados se elevan á mayor altura que los gruesos. Luego es preciso que el diámetro del encañado tenga una cierta magnitud, con relacion á la del surtidor, para que el agua se eleve á la mayor altura de que es susceptible: luego si se compara dos surtidores de agua diferentes, y se quiere que cada uno se eleve á su mayor altura, es preciso que *los quadrados de los diámetros de los encañados esten entre sí en razon compuesta de los quadrados de los diámetros de las salidas y de las raices quadradas de las alturas de los depósitos.* Así, si se conoce por experiencia el diámetro que debe tener un encañado para abastecer el gasto de una salida ó caño de

terminado, baxo una altura dada de depósito, se determinará el diámetro de otro encañado qualquiera para abastecer una salida determinada, baxo una altura dada de depósito.

404 Manifiesta la experiencia que, para una salida de 6 líneas de diámetro, con una altura de depósito de 52 pies, debe ser el diámetro del encañado de cerca de 39 líneas; y que, para una salida de 6 líneas de diámetro, y con una altura de depósito de 16 pies, debe ser el diámetro del encañado de cerca de 28½ líneas. No hay inconveniente ninguno en dar al encañado un diámetro mas grande que el que pide la regla de arriba; y *sí le hay* en darle un diámetro menor.

405 Algunas veces se construyen los caños de salida en forma de conos ó de cilindros; en lo que no se procede con acierto; por ser las salidas cilíndricas las peores de todas. Las salidas que dan mas elevacion al agua, son las que estan hechas en la platina horizontal que tapa el extremo del tubo; siendo preciso que esta platina esté muy bruñida, que sea delgada, de un grueso uniforme, y agujereada perpendicularmente.

406 Resulta de la comparacion de muchos experimentos hechos acerca de los surtidores de agua, que *las diferencias entre las alturas del agua por los surtidores verticales, y las alturas de sus depósitos, son entre sí sensiblemente como los quadrados de las alturas del agua en los surtidores.* Luego si se conoce por medio de un experimento la cantidad que falta para que el agua de un surtidor suba á la altura de su depósito, se hallará por una simple proporcion, la cantidad que faltará para que el agua de otro surtidor qualquiera de una altura dada se eleve á la altura de su depósito. Si se quiere conocer la altura del depósito, no habrá mas que aña-

Digitized by Google

dir á la altura del agua en el surtidor la cantidad hallada por la proporcion.

407 Quando hay precision de acodar los encañados, es necesario evitar tanto como se pueda el acodarlos en ángulos rectos; á causa de que el choque de la corriente, contra esta especie de ángulos, destruye una parte de la velocidad, y cansa mucho el encañado.

408 Añadimos aquí una tabla para facilitar la aplicacion de los principios que acabamos de establecer.

En las dos primeras columnas se han colocado las alturas del agua en los surtidores y las alturas correspondientes de los depósitos. La tercera columna contiene en pintas de París, de las que 36 componen un pie cúbico, los gastos durante un minuto por una salida de 6 líneas de diámetro, relativamente á las alturas de la segunda columna. Conocidos los gastos por una salida de 6 líneas, una simple proporcion dará á conocer los gastos por otra salida qualquiera con una misma altura en el depósito; pues que se ha probado (374) que los gastos son entónces entre sí como las areas de las salidas, ó como los quadrados de los diámetros de estos mismos orificios. Estan en la 4.ª columna los diámetros que deben tener los encañados para una salida de 6 líneas de diámetro, relativamente á las alturas de la 2.ª columna. Se hallarán los diámetros de los encañados para otras salidas y otras alturas de depósito, siguiendo la regla establecida arriba (403).

Nota. Con respecto á las dos últimas columnas no se ha hecho atencion á las fracciones en el cálculo.

Digitized by Google

409 Alturas del água en los surtidores, expresadas en pies.	Alturas de los depósitos expresadas en pies y pulgadas.		Gastos en un minuto por una salida de 6 líneas de diámetro, expresados en pintas [1] de París.	Diámetros de los encañados relativos á la segunda y tercera columna, expresados en líneas.
Pies.	Pies.	Pulg.	Pintas.	Líneas.
5	5	1	32	21
10	10	4	45	26
15	15	9	56	28
20	21	4	65	31
25	27	1	73	33
30	33	0	81	35
35	39	1	88	36
40	45	4	95	37
45	51	9	101	38
50	58	4	108	39
55	65	1	114	40
60	72	0	120	41
65	79	1	125	42
70	86	4	131	43
75	93	9	136	44
80	101	4	142	45
85	109	1	147	46
90	117	0	152	47
95	125	1	158	48
100	133	4	163	49

[1] La capacidad de la pinta de París es de 48 pulgadas cúbicas: ó la 36ª parte de un pie cúbico.

Digitized by Google

De las Bombas.

410 Son las bombas unas máquinas hidraúlicas destinadas á elevar el agua: se componen de cilindros huecos *a b* (*fig.* 51), ó *a b* (*fig.* 53) sin escabrosidad alguna en lo interior, y de un diámetro bien igual en toda su longitud, que se llaman *cuerpos de bomba*, en los quales se hace entrar un tapon *e*, llamado *émbolo*, que se hace obrar por medio de una espiga de metal *f g* (*fig.* 51), á la extremidad *g* de la qual se adapta la fuerza motriz, con el auxílio de una palanca *g i*, ó de otra qualquiera máquina: se une á esto un tubo ascendente *a k*, para conducir el agua á la altura que se desea; y en fin unas válvulas ó sopapos *s d*.

411 Hay muchas especies de bombas: las unas son *compresivas*, y las otras *atractivas*; y las hay tambien que son á un mismo tiempo atractivas y compresivas.

412 Hay dos modos de construir las bombas compresivas: en las unas (*fig.* 51), descansa la columna de agua que se levanta, sobre el émbolo que está obrando: en las otras (*fig.* 52), resiste la columna de agua al émbolo que se hace baxar: las primeras pueden llamarse *bombas compresivas elevatorias*; y las segundas *bombas compresivas impelentes*.

413 La bomba compresiva elevatoria (*fig.* 51) está compuesta de un cuerpo de bomba *a b*, á la parte inferior del qual está colocado un cabo de tubo *b c*, abierto en la parte inferior, ó mejor aun lleno de agujeros en toda su longitud, de modo que las partes groseras que se hallen en el agua, no puedan subir hasta el cuerpo de bomba. En la union de este cabo de tubo con el cuerpo de bomba, está una válvula *d*, que levantándose permite la entrada al

Digitized by Google

agua en el cuerpo de bomba; pero que baxándose en seguida no la permite salir. En este cuerpo de bomba está un émbolo *e*, agujereado de parte á parte, guarnecido en su parte superior con una válvula *s*, y encima una horquilla *f*, por la qual está unido á la espiga *f g* que le hace obrar, por medio de la palanca de primera especie (477) *g b i*, que tiene su punto de apoyo en *b*. En la parte superior *a* del cuerpo de bomba, está unido el tubo ascendente *a k*, que tiene su desaguadero en *k*. Debe estar sujeta esta bomba de un modo qualquiera en el pozo ó estanque, en términos que el cuerpo de bomba *a b* se halle todo entero por baxo de la superficie del agua *x x*.

414. Supuesto esto, si se levanta el émbolo *e*, baxando la extremidad *i* de la palanca *i b g*, de modo que se halle esta palanca en la posicion *l b m*, se elevará este émbolo en el cuerpo de bomba *a b* una cantidad igual á *g m*; durante cuyo tiempo, levantándose la válvula *d*, pasará el agua del depósito á la bomba, mediante la presion del agua exterior (288). Báxese en seguida el émbolo, y su presion hará cerrar la válvula *d*, y levantar el sopapo *s*; con lo que el agua que ántes estaba por debaxo del émbolo, se halla despues por encima, é impele la válvula *s* contra su agujero; lo que le estorba el volver á pasar á la parte inferior, quando se levanta de nuevo el émbolo. Luego un segundo golpe de émbolo elevará esta cantidad de agua, y permitirá, en virtud del mismo mecanismo, á una nueva cantidad el pasar á la bomba, y en seguida encima del émbolo, como hizo la primera; de modo que con un cierto número de golpes de émbolo, se conseguirá llenar el tubo ascendente *a k*. Llegado este caso saldrá á cada golpe de émbolo, por el desaguadero *k*, una masa de agua igual á un cilindro que

Digitized by Google

tendrá por base la misma que tiene el émbolo, y por longitud el camino que andará el émbolo en el cuerpo de bomba; cuyo camino ó espacio corrido es á lo que se llama *carrera del émbolo.*

415 Es muy fácil saber qual es el peso de la columna de agua con que está cargado el émbolo, quando el tubo ascendente se halla lleno; y por conseqüencia, el determinar qual es la fuerza que debe obrar en *i* para hacer trabajar la bomba. Hemos probado arriba (294) que *los líquidos pesan en razon de su altura perpendicular, y de la amplitud de la base que se opone á su caida.* En una bomba, esta base es el émbolo, y la altura perpendicular es la del tubo ascendente por cima de la superficie del agua; de modo, que quando el tubo ascendente está lleno, es igual la carga que hay sobre el émbolo, al peso de un cilindro de agua que tenga por diámetro el del émbolo, y por altura la del tubo ascendente, contando desde la superficie del agua, qualquiera que sea el diámetro del tubo ascendente: lo que es fácil calcular, teniendo presente que un cilindro de agua de un pie de diámetro y de un pie de altura pesa 55 libras.

416 Se sigue de aquí que no se disminuye en modo alguno el peso de la columna de agua, disminuyendo el diámetro del tubo ascendente; y que al contrario, se aumenta por este medio la resistencia que es preciso vencer, á causa del aumento de los rozamientos que son mas considerables en los tubos delgados que en los gruesos (105); por la razon de que sus superficies relativas aumentan, como disminuyen, los diámetros: así, si no fuese por el ahorro de gasto, seria un gran desacierto el hacer, como no obstante se practica, los tubos ascendentes mas delgados que los cuerpos de bomba, siendo mejor darles un diámetro un poco mas gran-

Digitized by Google

de que el del cuerpo de bomba; en cuyo caso la columna de agua que se levantase, correria ó se deslizaria por un tubo de agua, y por consequiencia no padeceria mas rozamientos que el de la segunda especie (97).

417 La bomba compresiva impelente está compuesta de un cuerpo de bomba *a b* (*fig.* 52), del todo cerrado por la parte inferior, enteramente abierto por la superior, y en el qual se halla un émbolo *c*, que no difiere del de la bomba precedente (413) mas que en que su válvula *d* está colocada en su parte inferior: este émbolo, así como el de la bomba precedente, se pone en movimiento con el ayuda de una palanca *e f g*; pero de la *segunda especie* (477), y que tiene su punto de apoyo en g: su tubo ascendente *b b* está colocado al lado del cuerpo de bomba, con el qual tiene comunicacion, y guarnecido de una válvula *i* en su parte inferior, y de un desagüadero *b* en su parte superior. Debe estar sujeta esta bomba, así como la precedente, en el pozo ó estanque, de modo que el cuerpo de bomba *a b* esté del todo sumergido por baxo de la superficie del agua *x x*.

418 Cayendo el agua por la abertura *a*, y pasando al traves del émbolo *c*, cuya válvula *d*, segun su posicion, se halla naturalmente abierta, llena el cuerpo de bomba: si se baxa el émbolo *c*, haciendo que la palanca *e f g* tome la situacion *l k g*, la resistencia del agua contra la válvula *d* la cierra inmediatamente; y como no puede esta agua volver á pasar á la parte superior del émbolo, tiene precision de introducirse por el tubo ascendente *b b*, levantando la válvula *i*: inmediatamente que se vuelve á levantar el émbolo, se cierra la válvula *i*, en virtud de la presion del agua que hay encima; y la válvula *d* se abre, cayendo por su propio peso;

Digitized by Google

despues de lo qual pasa una nueva masa de agua á la parte inferior del émbolo, la que en virtud de la segunda baxada del mismo émbolo, no puede ménos de pasar, como la primera, al tubo ascendente. De modo que con un cierto número de golpes de émbolo, se consigue llenar el tubo ascendente *b b*; despues de lo qual sucede lo mismo que en la precedente bomba. Si en la una y en la otra es el émbolo de un mismo diámetro, y si los tubos ascendentes son de la misma altura perpendicular, los pesos de las dos columnas de agua son iguales, y estas dos bombas necesitan la misma fuerza motriz para ser puestas en movimiento; por la razon de que en este caso lo mismo es para la fuerza motriz el tener que levantar el émbolo cargado de la columna de agua, que el tener que impeler la columna de agua con el émbolo.

419 La bomba atractiva (*fig.* 53) está compuesta de un cuerpo de bomba *a b*, abierto por lo alto, á cuya parte inferior está unido el tubo de atraccion *b c*. En la reunion de este tubo con el cuerpo de bomba, se halla una válvula *d*, cuyo uso es el permitir, levantándose, la entrada al agua desde el tubo de atraccion *c b* al cuerpo de bomba *b a*; y el de estorbar al agua, baxándose, el que salga por el mismo camino. En el cuerpo de bomba se halla un émbolo *e*, del todo semejante al de la primera especie de bomba compresiva (*fig.* 51), de que hemos hablado arriba (413), el qual se pone en movimiento del mismo modo; y con ayuda de una palanca *f b g* (*fig.* 53) de la misma especie. Debe estar sujeta esta bomba de modo que no esté metida en el agua mas que la extremidad inferior del tubo de atraccion *b c*.

420 En el tiempo en que se halla la bomba en inaccion, las dos válvulas *i d* estan naturalmente

Digitized by Google

cerradas en virtud de su propio peso. Si se levanta el émbolo *e*, haciendo que la palanca *f b g* tome la situacion *k b l*, se levanta la columna de ayre que estaba encima; y el ayre encerrado en el tubo de atraccion, desde la superficie del agua *o* hasta el émbolo, teniendo entónces mas espacio que ocupar, queda mas enrarecido que el ayre exterior: luego este último carga con mayor fuerza sobre la superficie del agua *x x*, obligándola á subir por el tubo de atraccion, hasta que el ayre interior haya cobrado su primera densidad, ocupando ménos espacio. De modo que despues de algunos golpes de émbolo, llega el agua al cuerpo de bomba, y pasa al través del émbolo, levantando las válvulas *d* é *i* la una despues de la otra; cuyo émbolo, levantándose, obliga al agua á salir por el desaguadero *a*.

421 Como la subida del agua en esta bomba se debe á la presion del ayre, y como esta presion no puede sostener una columna de agua que pase de 32 pies (301), es claro que no debe tener mas longitud el tubo de atraccion; al que ni aun los 32 pies se le dan en el uso ordinario. Para que la presion del ayre pudiese sostener una columna de agua de esta altura, seria preciso, 1.° que la bomba atractiva estuviese construida con la mayor exâctitud, y que permaneciese siempre con la misma; 2.° que estuviese colocada al nivel del mar, ó poco mas ó ménos, por ser allí en donde la presion del ayre obra con la mayor fuerza; 3.° que la presion del ayre no variase nunca; datos todos que es dificil se verifiquen: lo freqüente es el dar al tubo de atraccion 23 ó 24 pies. Si se tiene que hacer subir el agua á una altura mayor, es preciso servirse de la bomba compresiva; cuyo uso está sujeto á bastantes inconvenientes: es indispensable el colocar su cuerpo de bomba en el po-

Digitized by Google

zo ó estanque; y quando hay que componerle, lo que sucede freqüentemente, es preciso una de dos cosas, ó desocupar el pozo ó estanque, ó sacar el cuerpo de bomba, lo que es muy incómodo y costoso. Para evitar estos inconvenientes, lo mejor que se puede hacer en semejante caso, es servirse de una bomba que sea á un mismo tiempo atractiva y compresiva, como lo veremos mas adelante (425).

422 En 1766, se pretendió, y aun se hizo poner en los papeles públicos, que se habia hecho en Sevilla, Ciudad de España, una bomba simplemente atractiva, que hacia subir el agua á 60 pies; en conseqüencia de lo qual se concluyó, que hasta entónces se habian engañado los físicos groseramente, diciendo que la presion del ayre no podia sostener una columna de agua de mayor altura que la de 32 pies. Veamos qual era el fundamento de esta pretension. Un artífice poco instruido construyó efectivamente en Sevilla una bomba atractiva, á cuyo tubo de atraccion dió 60 pies de longitud, por tener necesidad de hacer subir el agua á esta altura: colocada la bomba en su lugar, la puso en movimiento, y no pudo jamas hacer subir el agua al cuerpo de bomba: ya fuese impacientado ó lleno de cólera dió un hachazo á la bomba, é hizo una abertura pequeña en el tubo de atraccion, á cerca de 10 pies de altura sobre la superficie del agua del depósito; é inmediatamente subió una porcion pequeña de agua al cuerpo de bomba. Este fué el motivo que se tuvo para publicar que se habia construido una bomba atractiva que hacia subir el agua á 60 pies. El lector podrá juzgar sobre este punto.

423 Supongamos pues que el tubo de atraccion *c b* (*fig.* 53) tiene 60 pies de altura, desde *o* superficie del agua del estanque, hasta *b*; y que despues de un cierto número de golpes de émbolo, se

Digitized by Google

ha llegado á hacer subir el agua hasta *m* á 32 pies de altura: si á este tiempo se hace un agujero pequeño en *n* á 10 pies por cima de la superficie del agua, el ayre que entra por este agujerillo, y que exerce su presion en toda suerte de direcciones (301), hace caer en el estanque la columna de agua de 10 pies que está por debaxo de *n*; y la presion que el ayre exerce en *n* de abaxo arriba, no tiene que trabajar mas que contra una columna de agua de 22 pies. Luego podrá hacer subir esta columna no solamente á 60 pies, sino á mas de 8000 pies de altura; por la razon de que el ayre, tomado hácia la superficie de la tierra, es mas de 8000 veces ménos denso que el agua (883); y suponiendo que su densidad no fuese disminuyendo á proporcion que se va elevando (cosa que no es así) los 10 pies de agua separados equivaldrian pues á mas de 8000 pies de ayre: luego la columna de ayre que cargaria en *n* seria excedente en mas de 8000 pies. Así los 22 pies de agua restantes no estarian en equilibrio con la columna de ayre, hasta tanto que no hubiesen subido á mas de 8000 pies. Para conseguir una segunda porcion de agua con semejante bomba, seria necesario comenzar tapando el agujero que se hubiese hecho en *n*, en seguida dar muchos golpes de émbolo, para elevar el agua hasta *m*, y en fin volver á abrir el agujero en *n*. ¿Se podrá mirar este procedimiento como sencillo, mayormente quando no se consigue hacer subir mas que una cantidad muy corta de agua? Seria preciso tambien que el tuvo de atraccion tuviese un diámetro pequeño, sin lo qual se abriria la columna de agua, el ayre pasaria al través de ella, y no subiria ni una gota al cuerpo de bomba. Para enunciar como falsa una opinion universalmente recibida, se necesita meditarlo bien, y pensar en ello por algun tiempo.

Digitized by Google

424 Poco tiempo despues, *Bellangeé*, platero, que vivia en la plaza Delfina, en París, imitó la bomba de Sevilla, y le dió á mas la propiedad de hacer salir el agua por un surtidor continuo, á 55 pies de altura, sin embargo de no ser esta bomba mas que simplemente atractiva. He aquí como se manejó. Adaptó á aun cuerpecillo de bomba de 25 líneas de diámetro interior, y cuyo émbolo tenia 8 pulgadas de carrera, un tubo de atraccion de 10 líneas de diámetro, y de 56 pies de longitud: estaba este tubo guarnecido de una válvula en la parte en que se juntaba con el cuerpo de bomba, y de otra válvula en su extremidad inferior; cuya extremidad se metia en un tonel lleno de agua: habia hecho *Bellangeé* en este tubo un agujerillo de cerca de media línea de diámetro, y á 12 ó 15 pulgadas por cima de la superficie del agua del tonel. Todo así dispuesto, si hacia mover el émbolo lentamente no subia nada de agua; á causa de entrar por el agujerillo el ayre suficiente para llenar el tubo de atraccion: pero si hacia mover el émbolo con mucha priesa, no pudiendo entrar por el agujerillo en tan poco tiempo el ayre suficiente para llenar el tubo, subia un poco de agua que se mezclaba con el ayre, de modo que estaba compuesta la columna de cilindros pequeños alternativamente de ayre y de agua; y sin embargo de que tenia 55 pies de altura, faltaba mucho aun para que pesase tanto como pesaria una columna de agua continua de 32 pies de altura. Así, habiendo calculado, segun el diámetro del cuerpo de bomba y la extension de la carrera ó espacio corrido por el émbolo en cada golpe, la cantidad de agua que deberia haber dado esta bomba, sino hubiese entrado ayre, y habiendo comparado esta cantidad con la que nos dió realmente, hallé que esta última era muy inferior. Porque, en 6

Digitized by Google

minutos de tiempo, se diéron 530 golpes de émbolo, que no produxéron mas que 36 pintas de agua; debiendo haber producido mas de 292 pintas. Luego esta bomba no nos da mas que la octava parte del agua de la que deberia darnos; por lo qual, aunque parezca de mejor invencion, no vale mas que la de Sevilla.

425 La bomba atractiva y compresiva está compuesta de un cuerpo de bomba *a b* (*fig.* 54), abierto por la parte superior, y adaptado en la parte inferior el tubo de atraccion *b c*. En la reunion de este tubo con el cuerpo de bomba está colocada una válvula *d*, destinada al mismo uso que en la bomba simplemente atractiva (419). En el cuerpo de bomba se halla un émbolo *e* que no está agujereado como los precedentes, sino entero, y que se pone en movimiento con ayuda de la espiga *f g*, y de una palanca *b g i* de segunda especie (477), que tiene su punto de apoyo en *i*. Al lado del cuerpo de bomba, y hácia su parte inferior, está unido un tubo ascendente *k l*, en el qual hay una válvula *m* en su parte inferior y un desaguadero *l* en su parte superior. Debe estar sujeta esta bomba de modo que no esté sumergida en el agua mas que la extremidad inferior del tubo de atraccion *b c*.

426 Se ve con toda claridad que la primera accion de esta bomba es la de una bomba atractiva, como la de que hemos hablado mas arriba (419); porque si se levanta el émbolo *e*, haciendo pasar la palanca *b g i* á la situacion *n o i*, se levanta la columna de ayre que carga encima; y el ayre que se halla en el tubo de atraccion se hace con este motivo mas raro que el ayre exterior: luego este último carga con mayor fuerza sobre la superficie del agua *x x*, y la hace subir, despues de dados algunos golpes de émbolo, hasta el cuerpo de bomba.

Digitized by Google

Llegada allí, si se baxa el émbolo *e*, se cierra la válvula *d*, y el agua no puede ménos de entrar por el tubo ascendente *k l*, levantando la válvula *m*; la qual inmediatamente que cesa la presion, vuelve á caer por su peso y el del agua que está encima: luego se ve que el émbolo atrae al subir, é impele ó comprime al baxar.

427 Esta bomba es muy cómoda, así porque hallándose colocado fuera del agua su cuerpo de bomba, se puede hacer en él fácilmente las composturas necesarias; como porque se puede por su medio hacer subir el agua á la altura que se quiera; no necesitándose para esto mas que el dar mayor longitud al tubo ascendente, y aumentar la fuerza que debe poner á la bomba en movimiento.

428 Se puede incluir en la especie de la precedente (425) la bomba de incendio, la que no solamente es á un mismo tiempo atractiva y compresiva, sino que tambien tiene su surtidor continuo, sin embargo de no tener mas que un cuerpo. La composicion de esta bomba en lo esencial, es como la de la bomba atractiva y compresiva (*fig.* 54), de que acabamos de hablar (425); con la diferencia de que su tubo de atraccion es mucho mas corto; y de que en lugar de tubo ascendente sólido, tiene un tubo de cuero, al qual se le da una longitud conveniente. Está pues compuesta esta bomba (*fig.* 55), de un cuerpo de bomba *g h*, abierto por la parte superior, y en la inferior adaptado el tubo de atraccion *h p*: en la reunion de este tubo con el cuerpo de bomba, se halla una válvula *o*, cuyo uso es el estorbar que el agua, una vez introducida en el cuerpo de bomba, vuelva á caer al depósito. En este cuerpo de bomba hay un émbolo *n* sin agujerear, y que se pone en movimiento con ayuda de la espiga de metal *g r*, y de una palanca de se-

Digitized by Google

gunda especie (477) *t r s*, que tiene su punto de apoyo en *s*. Hácia la parte inferior del cuerpo de bomba, y sobre uno de sus lados, hay un agujero *c* que se cubre con una válvula *m l*, asegurada con un tornillo pequeño, y cuya parte *l* es elástica: está destinada esta válvula á impedir que el agua, una vez fuera del cuerpo de bomba, pueda volver á entrar en él quando se levanta el émbolo *n*. El cuerpo de bomba *g h* está cubierto por todas partes con un tubo *a b d e*, de un diámetro de 2 ó 3 pulgadas mas grande que el del cuerpo de bomba; y el intervalo que queda entre el uno y el otro, está lleno de ayre. A la parte inferior de este tubo, y hácia un lado, está unido otro tubo pequeño acodado *e v*, en cuyo extremo *v* se halla colocada una válvula *x* y una birola con tuerca, destinada á recibir un cilindro tambien con tuerca, por medio del qual se une, á este cabo de tubo, el tubo de cuero de que hemos hablado arriba, y que hace oficio de tubo ascendente. Está colocada toda esta máquina, como se ve en *d* (*fig.* 56), sobre un caxon *e f* aforrado de plomo, que contiene el agua, y enlazado de alto abaxo con la cubierta *g* del caxon, y un traversaño *h*, á través del qual pasa el extremo superior *f* (*fig.* 55) del cuerpo de bomba, el que á este intento es de un diámetro menor que el resto. La cubierta *g* (*fig.* 56) del caxon está tambien agujereada en su medio, para dexar pasar el tubo de atraccion *h p* (*fig.* 55.)

429 En virtud de todo esto se ve que si se levanta el émbolo *n*, haciendo que la palanca *t r s* tome la situacion *y z s*, la válvula *x* y el sopapo *m*, colocado en *c*, se unen fuertemente contra sus agujeros por la presion del ayre exterior. Obrando esta misma presion sobre la superficie del agua 1, 1, la obliga á pasar al cuerpo de bomba, levantando

Digitized by Google

la válvula *o*; en cuyo caso la bomba es atractiva. Pero quando se baxa el émbolo *n*, la presion que esto causa, cierra la válvula *o*, y abre la que se halla en *c*; pasando entónces el agua, no solamente al tubo de cuero *a b c* (*fig.* 56) levantando la válvula *x* (*fig.* 55), sino tambien al intervalo que se halla entre el cuerpo de bomba y el tubo que le rodea, subiendo hácia *i k*, y comprimiendo el ayre que está encerrado allí. Inmediatamente que se levanta de nuevo el émbolo *n*, no estando ya este ayre sujeto á la presion que sufria ántes, se desenvuelve en virtud de su elasticidad, obra sobre el agua que está entre el cuerpo de bomba y el tubo que la rodea, y la hace subir hácia el tubo de cuero; de modo, que quando se baxa el émbolo, el agua es impelida por el émbolo mismo; y quando se levanta este, es impelida por la elasticidad del ayre (903); lo que hace que la salida del agua sea continua, sin embargo de no haber mas que un cuerpo de bomba.

430 La continuacion del surtidor es necesaria en los incendios; y se obtiene con esta bomba, empleando la elasticidad del ayre en el momento en que se levanta el émbolo. Es verdad que se necesita una fuerza dupla para hacer obrar la bomba; á saber, una fuerza capaz de impeler la columna de agua, y una fuerza semejante para comprimir el ayre; pero este no es inconveniente, á causa de que en los incendios rara vez hay falta de gente; sino que ántes al contrario es lo mas comun el que haya demasiada.

431 Para mover las bombas se emplea toda suerte de agentes, como hombres, animales, corrientes de agua, la accion del viento, &c. Las máquinas pequeñas de este género, tales como las bombas de los

Digitized by Google

pozos ó de incendios, se mueven ordinariamente por medio de los brazos de los hombres. Quando hay precision de hacer subir una cantidad considerable de agua, se aumenta á proporcion la fuerza motriz; y para que exerza continuamente el mismo esfuerzo, á lo ménos con corta diferencia, sin quedar ociosa, se establece muchos cuerpos de bomba; de modo, que quando una parte de los émbolos desciende, la otra sube. De este modo se ha hecho en la máquina de *Maldi.*

432 Todo el efecto de estas máquinas depende de la regularidad del movimiento alternativo de los sopapos ó válvulas. Luego es indispensable el que estas piezas esten de tal modo construidas y dispuestas, que detengan bien el agua quando estan cerradas, y que se abran fácilmente quando deban hacerlo.

433 Algunas veces se emplea tambien la accion del agua reducida á vapor por medio del fuego, para poner en movimiento las bombas; y entónces se les da á estas el nombre de *bombas de fuego*; las quales son unas máquinas hidraúlicas, á propósito para elevar una gran cantidad de agua á una grande altura. Hablaremos de ellas mas adelante (1065), al tratar del agua considerada en estado de vapor, y al manifestar los esfuerzos enormes de que es capaz este fluido elástico.

Movimiento de las aguas por los encañados.

434 Quando se quiere conducir el agua de un sitio á otro, es claro que se necesitan encañados tanto mas largos, quanto el sitio desde adonde el agua comienza á caminar, está mas distante de aquel adonde debe ir á parar. En los tubos aditi-

Digitized by Google

cios, de que hemos hablado arriba (381 y *siguientes*), hicimos muy poco aprecio de la resistencia de los rozamientos, á causa de ser muy poco sensible en los tales tubos aditicios. No sucede lo mismo en los tubos largos; pues que el rozamiento del agua contra sus paredes, disminuye considerablemente la velocidad, como lo prueba la experiencia. Supongamos primeramente, que los tubos sean rectilíneos.

435 En estos experimentos se ha hecho uso de dos tubos, de los quales el uno tenia 16 líneas de diámetro interior, y el otro dos pulgadas: se ha ido *prolongando* sucesivamente los dos tubos, desde 30 pies hasta 180; y la altura constante del agua en el depósito, por cima del exe de cada tubo, ha sido unas veces de 1 pie, y otras de 2.

436 En la tabla siguiente se hallan los resultados de todos estos experimentos.

Digitized by Google

Alturas constantes del agua en el depósito por cima del exe del tubo, expresadas en pies.	Distancias de los puntos desde adonde comenzó á caminar el agua hasta el punto en que se la recibió, expresadas en pies.	Número de pulgadas cúbicas de agua producidas en un minuto por el tubo de 16 líneas de diámetro.	Número de pulgadas cúbicas de agua producidas en un minuto por el tubo de 2 pulgadas de diámetro.
1	30	2778	7680
1	60	1957	5564
1	90	1587	4534
1	120	1351	3944
1	150	1178	3486
1	180	1052	3119
2	30	4056	11219
2	60	2888	8190
2	90	2362	6812
2	120	2011	5885
2	150	1762	5232
2	180	1583	4710

Digitized by Google

437 Si por medio de la tabla puesta arriba (397) se busca los gastos de dos cabos de tubo aditicios de 16 líneas, y de 2 pulgadas de diámetro, con unas mismas alturas de depósitos, y sin hacer consideracion á los rozamientos, sino solamente á las areas de los orificios de los tubos, se halla que durante un minuto:

1.° Siendo la altura del depósito de un pie, el tubo de 16 líneas de diámetro produce 6292 pulgadas cúbicas de agua.

2.° Siendo la altura del depósito de 2 pies, daria el mismo tubo 8893 pulgadas cúbicas de agua.

3.° Siendo la altura del depósito de un pie, el tubo de 2 pulgadas de diámetro produciria 14156 pulgadas cúbicas de agua.

4.° Siendo la altura del depósito de 2 pies, produciria el mismo tubo 20008 pulgadas cúbicas de agua.

Se ve que estos gastos de agua son mucho mas grandes que sus correspondientes en la tabla precedente; y que el gasto de cada tubo disminuye tanto mas, quanto este tubo tiene mas longitud, por la razon de que entónces hay mas superficie en donde se verifique el rozamiento.

438 Pero se puede observar tambien, que la disminucion del gasto no está en proporcion con la prolongacion del tubo: disminuye sí este gasto á medida que se prolonga el tubo, pero en cantidades que decrecen; porque los primeros 30 pies disminuyen mucho mas el gasto, que lo que le disminuyen los segundos 30 pies; y la tercera prolongacion de 30 pies disminuye aun ménos el gasto, que lo que le disminuye la segunda; y así de seguida.

439 Resulta de todo esto, que en la práctica, en donde no se necesita una exâctitud tan grande, se puede tomar por regla, que *los gastos hechos, en*

Digitized by Google

tiempos iguales, por un mismo tubo horizontal, con una misma altura de depósito, y á diferentes distancias desde el orificio de salida al orígen del tubo, estan entre sí, con corta diferencia, en razon inversa de las raices quadradas de estas distancias.

440 Se puede observar, por la tabla precedente, que el tubo de 16 líneas de diámetro gasta ménos, á proporcion que el de 2 pulgadas, con una misma altura de depósito, y una misma longitud. Procede esto de haber, relativamente á las cantidades de agua que estos tubos pueden contener, mas superficies que contribuyan al rozamiento en el tubo delgado que en el grueso (416).

441 Si en lugar de ser rectilíneo el mismo tubo, es curvilíneo, disminuye tambien esto el gasto, pero en una cantidad pequeña; y este gasto disminuye tambien un poco mas, si el plano del tubo curvilíneo está en posicion vertical, mas bien que en posicion horizontal; cuya corta disminucion es producida por el choque del agua contra los ángulos del tubo, el qual choque hace perder una parte de la velocidad.

442 Pero si el tubo, en lugar de ser curvilíneo, estuviese compuesto de partes rectas que formasen ángulos entre sí, seria mas grande la disminucion, y tanto mas, quanto estos ángulos estuviesen ménos abiertos; por la razon de que entónces el choque del agua seria ménos obliquo, y haria con este motivo perder mas velocidad.

443 Quando los tubos son curvos, y el plano de su curvatura es vertical (*fig.* 57), hay entónces declives y contradeclives, en los quales puede contenerse el ayre, y disminuir y aun suspender el curso del agua. Sea, por exemplo, el tubo *a b c d e f g*, cuya extremidad superior *a* corresponde á un depósito

Digitized by Google

que le comunica el agua, y la extremidad *g* va á abastecer de agua á una fuente. No estando lleno el tubo mas que de ayre, si se le abastece de agua en *a*, este agua, impeliendo al ayre delante de ella, llenará la porcion *a b*, mas la porcion *b c*: llegagada el agua á la curvatura *c*, se deslizará por la parte inferior de esta curvatura, é irá (como lo prueba la experiencia) á llenar el codillo *d*, dexando detrás de ella la columna de ayre *c d*, que no podrá ya salir. Continuando el agua su viage, subirá de *d* á *e*, adonde habiendo llegado, se deslizará tambien por la parte inferior de esta curvatura para ir á llenar el codillo *f*, dexando detras de ella una segunda columna de ayre *e f*, que quedará allí detenida no obstante la presion de la columna *a b*; por la razon de que la columna de ayre *c d* no puede contrabalancear la presion de la columna de agua *d e*; ni tampoco la columna de ayre *e f* contrabalanceará la columna de agua *f i*. De modo que aunque el agua se halle en el tubo *a b* á una altura superior al nivel de *g*, no podrá subir el agua mas que hasta *i*, y en ningun modo correrá. El único remedio es el hacer salir las dos columnas de ayre *c d* y *e f*, poniendo, en el vértice de las curvaturas, dos cabos de tubo *c* y *e*, por los quales se dexará salir el ayre, cerrándolos en seguida con tapones ó llavecillas, luego que la corriente del agua esté bien establecida.

Movimiento de obscilacion del agua en un sifon.

444 Hemos probado arriba (262) que si un cuerpo pesado ó péndulo *a* (*fig.* 29) suspendido por medio de un hilo *c e*, describe arcos de círculo *b a d*, ó *f a g*, obscilando al rededor del punto fixo *c*, to-

Digitized by Google

das sus obscilaciones son isócronas ó de una misma duracion, aunque los arcos corridos *b a d*, ó *f a g* sean desiguales. Hemos probado tambien (263) que la duracion de las obscilaciones de dos péndulos de longitudes desiguales, son entre sí, como las raices quadradas de estas longitudes. El movimiento del agua que se balancea ú obscila en un sifon, es de la misma especie.

445 Supongamos un sifon (*fig.* 58) compuesto de 3 brazos, dos verticales *l n*, *m o*, y uno horizontal *n o*; que el diámetro interior de este sifon sea bien igual en toda su extension; y que el fluido, en el estado de reposo, ocupe en este sifon el espacio *a n o d*; en este caso las dos superficies *a b*, *c d*, estan á nivel. Supongamos tambien, que una causa qualquiera obliga al líquido á descender hasta *g b* en el brazo *m o*, y por conseqüencia á que se eleve hasta *e f* en el brazo *l n*: en el instante en que cese de obrar esta causa, quedará abandonado el fluido, únicamente á la accion libre de su pesantéz. El exceso de longitud en la columna *e n*, con respecto á la de la columna *b o*, obligará al líquido á descender, aun por baxo del nivel de la columna *b o*, á causa de la aceleracion de su caida (216); lo que hará subir al líquido en el brazo *m o*; y cuyo líquido baxará y subirá en seguida alternativamente, formando obscilaciones semejantes á las de un péndulo que va y viene; siendo la duracion de cada una de estas obscilaciones precisamente la misma que la de las obscilaciones de un péndulo que tuviese por longitud la mitad de la longitud *p q r* de la columna fluida.

446 Pues que las obscilaciones del agua siguen las mismas leyes que las de los péndulos (263), si se aumenta ó disminuye la longitud de la columna de agua, la duracion de cada una de sus obscila-

Digitized by Google

ciones aumentará ó disminuirá, y seguirá la razon subdupla de esta longitud.

Movimiento de obscilacion del agua en las ondas.

447 Compara *Newton*, en sus *Principes mathématiques* (libro 2.° prop. 46), el movimiento de ondulacion de una masa fluida indefinida, que ha perdido su situacion de equilibrio por la accion del viento, ó de otra qualquier manera, con el movimiento de obscilacion del agua en un sifon. Sea *a b c d e f* (*fig.* 59) una agua estancada cuya superficie suba y baxe por ondas sucesivas; que *a*, *c*, *e* sean las eminencias de estas ondas, y *b*, *d*, *f* las cavidades intermedias que las separen. Como el movimiento de las ondas se hace en virtud del ascenso y descenso del agua, de modo que las partes que son las mas altas, llegan á ser despues las mas baxas, y así de seguida alternativa y sucesivamente; y como la fuerza motriz que hace subir las partes mas baxas y descender las mas altas, es el peso del agua elevada; este ascenso y este descenso alternativos son análogos al movimiento de obscilacion del agua en un sifon, y guardan las mismas leyes con respecto á su duracion.

448 Luego si se tiene un péndulo cuya longitud sea igual á la mitad de la distancia transversal que hay entre una eminencia *a*, por exemplo, y la cavidad *b*, es decir, igual á la mitad de *a b'*, las partes mas altas llegarán á ser las mas baxas en la duracion de una obscilacion de este péndulo; y en la duracion de otra obscilacion, llegarán á ser las mas altas: luego cada una de estas ondas correrá un espacio igual á su latitud en el tiempo que el péndulo empleará en hacer dos obscilaciones. Y como un péndulo cuya longitud fuese quadrupla de la del

Digitized by Google

precedente, esto es, cuya longitud igualase la latitud *a c* de la onda, no haria mas que una obscilacion en tanto que el primero haria dos (263), se debe concluir que las ondas hacen sus obscilaciones en un tiempo igual á aquel en que haria las suyas un péndulo que tuviese por longitud la latitud de las mismas ondas. Se llama *latitud de las ondas* el espacio transversal *a c* que se halla entre sus mas grandes elevaciones, ó el espacio *b d* que está entre sus puntos mas baxos.

449 Se sigue de aquí que unas ondas que tuviesen 3 pies y 8,6 líneas de latitud, correrian, avanzando durante un segundo, esta misma latitud: por consequëncia, correrian en un minuto 183 pies y 7 pulgadas; y en una hora 11015 pies. Si estas ondas tuvieran una latitud quadrupla, correria esta latitud en un tiempo que no pasaria de ser duplo: luego quanto mas latitud tienen, mas espacio corren en un tiempo dado.

450 Todo sucederia del mismo modo que acabamos de decir, baxo la hipótesis de que todas las partes del agua subiesen y baxasen en líneas rectas; pero este ascenso y este descenso se verifican mas bien por líneas curvas: así, esta determinacion de tal y tal espacio corrido, en un tiempo dado, no es mas que una aproximacion.

Movimiento de las ruedas movidas por el choque del agua.

451 Entre las ruedas de los molinos hay unas en cuyas circunferencias se colocan unas alas ó paletas, y otras en las que se colocan unos caxones. En el primer caso obra el agua sobre estas ruedas principalmente con su choque; y en el segundo obra con su peso. Hablaremos primero de las ruedas mo-

Digitized by Google

vidas por el choque del agua.

452 Prueba la experiencia que las ruedas giran tanto mas apriesa quanto mas alas tienen. Se suele colocar freqüentemente 40 alas en las ruedas de 20 pies de diámetro; y un número mayor, como por exemplo 48, seria mas ventajoso. En las ruedas colocadas en los pontones sobre los rios, no se suele poner mas que 8 ó 10 alas ó paletas; pero estas ruedas producirian mas efecto si tuviesen 15 ó 16.

453 Quando una rueda con paletas gira en una corriente estrecha, la impulsion que recibe del agua es cerca de $\frac{1}{3}$ de la velocidad del fluido, mas grande que la impulsion que recibe en un fluido indefinido, por la razon de que en este último caso, el agua que se halla en abundancia, gira al rededor del ala, y la resiste; en lugar de que en la corriente estrecha no hay mas que una corta porcion de agua, que huye tan apriesa ó aun mas que la paleta ó ala.

454 En efecto, prueba la experiencia que quando la corriente no tiene mas que la latitud y profundidad simplemente suficientes para el movimiento de la rueda, quedándole al fluido la libertad de escaparse despues de haber dado su choque, la impulsion directa y perpendicular contra el ala de la rueda es quasi dupla de la impulsion que el ala recibiria, si estuviese sumergida á una misma profundidad en una corriente indefinida.

455 Quando una rueda, en cuya circunferencia se hallen colocadas 48 alas, y que no esté sumergida á bastante profundidad en el agua, gira en una corriente estrecha, debe tomar su circunferencia quasi los $\frac{2}{5}$ de la velocidad de la corriente, para que la máquina produzca el mayor efecto.

456 Las alas dirigidas al centro de la rueda,

Digitized by Google

parece ser las mas ventajosas, por la razon de que entónces se necesita muy poco para que el fluido las choque perpendicularmente; lo qual produce una percusion mas grande: quando estan inclinadas estas alas, el choque es obliqüo; y esto disminuye el esfuerzo. Sin embargo, un cierto grado de inclinacion hace que el agua suba á lo largo de la paleta, y que permanezca allí durante un cierto tiempo, obrando entónces con su peso, despues de haber obrado con su choque; y puede suceder que el esfuerzo que resulte de esto haga mas que compensar la disminucion que recibe el choque por la obliquidad con que el ala ó paleta ha sido chocada. En general, en las ruedas colocadas en corrientes estrechas que tienen un cierto declive, las alas deben estar inclinadas al radio una cierta cantidad, tanto porque el agua las choque en una direccion mas próxima á la perpendicular, quanto por recibir un aumento de fuerza con el peso del agua. La inclinacion mas ventajosa entre las alas y el radio, parece estar, segun la experiencia, entre 20 y 30 grados.

457 Una rueda colocada inmediata al depósito, gira mas apriesa que colocada en otra qualquier parte, por la razon de que entónces se saca partido de toda la caida del agua. Pero si hay precision de colocar la máquina en el extremo de una corriente estrecha, á una cierta distancia del depósito, se necesita inclinar la canal de esta corriente quasi la décima parte de su longitud, á fin de que el declive dé al agua la velocidad que le ha quitado el rozamiento; en cuyo caso recibe la rueda la misma impulsion que si estuviese colocada cerca del depósito.

Digitized by Google

Movimiento de las ruedas movidas por el peso del agua.

458 Obrando el agua con su peso, produce un efecto mucho mas grande, que quando obra con su choque. *Parent* en 1704, y *Pitot* en 1725, demostráron que una rueda (suponiéndola sin rozamiento), movida por una corriente de agua, y destinada á hacer subir una porcion de este agua á la altura de la que le hacia mover, no podia elevar, á lo mas, mas que los $\frac{4}{27}$ ó un poco mas de $\frac{1}{7}$ de agua. En lugar de que haciendo obrar el agua sobre la rueda con su propio peso, podia hacer subir, á la misma altura de adonde descendia, la mitad del agua que caía, ó los $\frac{2}{3}$ ó los $\frac{3}{4}$ ó &c.

459 Quando no se tenga mas que una corta cantidad de agua, y sea preciso economizarla (cosa que sucede con freqüencia, á causa de no haber tantos rios caudalosos como riachuelos y arroyos de poco caudal), se necesitará hacer obrar este agua mas bien con su peso que con su choque; para lo qual se podrá echar mano de las ruedas con caxones, en lugar de las ruedas con alas ó paletas, en qualquier parte en donde se pueda tener una caida de mas de 4 pies, y en donde no se tenga toda el agua necesaria para hacer girar, por exemplo, un molino con una rueda de alas.

460 *Deparcieux* (*Memorias de la Academia de las Ciencias* año de 1754, pag. 603 y 671) probó despues que quanto mas lentamente giran las ruedas con caxones, mayor efecto producen con un gasto igual de agua: hizo pues construir una rueda pequeña de 20 pulgadas de diámetro, en cuya circunferencia se pusiéron 48 caxones: sobre el árbol

Digitized by Google

ó exe de esta rueda se colocáron 4 cilindros de diferentes gruesos: el menor de 1 pulgada de diámetro: el siguiente de 2 pulgadas; el tercero de 3; y el quarto de 4. Estos cilindros son las diferentes cabrias al rededor de las quales se arrolla el cordon que sube un peso, por medio de una polea de retorno, colocada encima de la máquina: el árbol de esta rueda está colocado por cada uno de sus extremos sobre dos rodillos muy movibles, á fin de disminuir los rozamientos: en la parte anterior de la rueda, y un poco mas alto que su exe, se coloca una mesilla, sobre la qual se pone un vaso agujereado en su ladó, vuelto hácia la rueda, y que se llena de agua: por cima de este vaso se coloca y se sostiene una gran botella llena de agua, boca abaxo, y cuyo cuello está metido algunas líneas en el agua del vaso, á fin que la botella no pueda vaciarse mas que á proporcion que el agua del vaso vaya cayendo por el agujero de que acabamos de hablar: al salir este agua cae en una canal que la conduce á los caxones de la rueda; por cuyo medio se tiene seguridad de emplear siempre la misma cantidad de agua en cada experimento.

461 He aquí los resultados de los experimentos hechos por *Deparcieux*: hizo levantar pesos, unas veces de 12 onzas, otras de 24: el mayor peso resistiendo mas obligaba á la rueda á girar mas lentamente. Hizo arrollar sucesivamente los cordones que sostenian los pesos sobre los diferentes cilindros; y el mismo peso resistia tanto mas, quanto su cordon estaba arrollado á un cilindro mas grueso.

Digitized by Google

Diámetro de los cilindros.	Elevacion del peso de 12 onzas.	Elevacion del peso de 24 onzas.
1 pulgada.	69 pulg.s 9 lín.s	40 pulg.s 0 lín.s
2	80 6	43 6
3	85 6	44 6
4	87 9	45 3

462 Quando el cordon se arrolla á un cilindro mas grueso, ó quando el peso elevado es mas considerable, gira la rueda mas lentamente. Se vé, por estos resultados, que el mismo peso es elevado á tanta mayor altura, quanto mas grueso es el cilindro á que se arrolla su cordon. Se ve del mismo modo que el peso duplo que disminuye tambien la rotacion, es elevado á mas de la mitad de la altura, á la qual sube el peso simple. Luego en estos casos el efecto es mas grande.

463 Se puede pues establecer como un principio que *el agua de una misma caida obra con su peso mucho mas ventajosamente que con su choque*; *y que quanto mas lentamente giran las ruedas con caxones, mas efecto producen, siendo iguales los gastos de agua.* Resulta este mayor efecto de que la misma porcion de agua obra mucho mas tiempo quando la rueda gira mas lentamente.

Digitized by Google

CAPÍTULO IX.

DE LA MECÁNICA ESTÁTICA.

464 Habiendo hablado ya de las propiedades y de las leyes del movimiento, tanto de los cuerpos sólidos como de los fluidos, nos ocuparemos ahora en manifestar los medios de emplear estos movimientos, de modo que saquemos utilidad de ellos. Estos medios pues, son las máquinas; esto es, unos compuestos de una construccion más ó ménos simple, que transmiten la accion de una potencia sobre una resistencia, y que la hacen crecer ó disminuir variando las velocidades de la una ó de la otra. En una palabra, estos son unos instrumentos, simples ó compuestos, cuyo destino es el de producir el movimiento, de modo que se ahorre algun tiempo en la execucion del efecto, ó alguna fuerza en la causa de él.

465 La Mecánica es la ciencia que nos conduce al conocimiento de estos medios. Tomada en su significacion mas amplia, tiene por objeto las leyes del movimiento de los cuerpos, y las leyes de su equilibrio: quando considera el movimiento, se llama *mecánica propiamente tal*, ó *dinámica*, que es de la que hemos hablado hasta aquí: quando trata de las leyes del equilibrio, se llama *mecánica estática*; y esta es de la que vamos á tratar ahora.

466 Se distingue dos especies de máquinas: máquinas simples, y máquinas compuestas: trataremos con especialidad de las simples; pues que la reunion de ellas no varia nada sus propiedades.

467 Contamos freqüentemente seis máquinas simples, á las que se dá el nombre de fuerzas movientes, y á las quales se pueden reducir todas las de-

Digitized by Google

mas máquinas; son pues estas seis máquinas simples, la *palanca*, la *polea*, la *cabria*, el *plano inclinado*, la *cuña*, y la *rosca* ó *tornillo*. Estas seis máquinas se pueden reducir á dos; á saber, á la palanca y al plano inclinado; por poderse considerar la polea y la cabria como unos conjuntos de palancas; y la cuña y el tornillo como unos planos inclinados; pues que no son otra cosa, como lo veremos despues (548 y 555).

468 Las máquinas compuestas son con efecto aquellas que se componen de muchas máquinas simples, combinadas entre sí: son pues unos compuestos de una construccion mas ó ménos complicada, por cuyo medio se puede hacer variar el valor de una potencia, variando las velocidades.

469 Hay quatro cosas principales que considerar en una máquina; á saber, la potencia, la resistencia, el punto de apoyo ó centro de movimiento, y la velocidad de la potencia y de la resistencia.

470 Es la potencia una ó muchas fuerzas que concurren á vencer un obstáculo ó á sostener su esfuerzo; tales son los esfuerzos de los hombres, de los caballos, de los pesos, de los muelles, &c. Como puede la potencia no ser siempre de un valor constante, es preciso hacer de modo que, en su momento mas débil, sea siempre superior á la resistencia, aun en el momento mas fuerte de esta; sin lo qual se parará la máquina.

471 La resistencia es uno ó muchos obstáculos que se oponen al movimiento de la máquina: tal es por exemplo un pedazo de mármol que se eleva con una grua. Puede la resistencia, del mismo modo que la potencia (470), no ser siempre de un valor constante, como quando se trata de sostener los fluidos, de extender ó desarrollar un muelle, de

Digitized by Google

dividir los cuerpos, &c. Es preciso pues hacer de modo que la resistencia en su momento mas fuerte, sea siempre inferior á la potencia, aun en su momento mas débil. Así, en una bomba, por exemplo, es preciso suponer lleno del todo el tubo ascendente, para tener el momento mayor de la resistencia; luego será preciso hacer de modo que la potencia sea superior al peso de esta columna de agua.

472 El punto de apoyo ó centro de movimiento es la parte de una máquina al rededor de la qual se mueven las demas: en una balanza por exemplo, el punto de la caxa en donde descansa el exe de los brazos, es el punto de apoyo. Se necesita siempre que este punto de apoyo sea bastante fuerte para sostener la potencia y la resistencia, ó para concurrir, en ciertos casos, con una de estas fuerzas á sostener el esfuerzo de la otra.

473 Se miden las velocidades por los espacios que corren en un mismo tiempo la potencia y la resistencia (56), ó que correrian, si la una de las dos se llevase consigo á la otra. Como en una máquina, son siempre iguales los tiempos, así con respecto á la potencia como á la resistencia, los espacios corridos ó por correr determinan sus velocidades relativas (61).

474 Para calcular el efecto de una máquina, se la considera freqüentemente en el estado de equilibrio, esto es, en el estado en que la potencia, que debe vencer á la resistencia, se halla en equilibrio con esta resistencia. Pero es preciso observar que despues de hecho el cálculo del caso del equilibrio, no se tiene mas que una idea muy imperfecta del efecto de la máquina; por la razon de que como el objeto de toda máquina es el de mover, se la debe considerar en el estado de movi-

Digitized by Google

miento, y no en el de equilibrio. Para esto, es preciso hacer atencion, 1.° á la masa (52) de la máquina, ó de las piezas de esta máquina, que debe levantar la potencia, cuya masa se añade á la resistencia que hay que vencer, y en virtud de la qual se debe por decontado aumentar la potencia; 2.° al rozamiento, que aumenta prodigiosamente la resistencia (96 y *siguientes*). Este rozamiento, y las leyes de la resistencia de los sólidos, tan diferente con respecto á los cuerpos grandes y pequeños, son principalmente los que hacen que no se sepa por lo comun deducir exâctamente, del efecto de una máquina en pequeño, el de una máquina semejante en grande; á causa de que las resistencias no son proporcionales á las dimensiones de una y otra máquina.

De la Palanca.

475 Entre todas las máquinas la mas sencilla es la palanca; la qual no es otra cosa mas que una barra de hierro, de madera, ó de otra qualquier materia equivalente, por medio de la qual puede una potencia, con el auxîlio de un punto de apoyo, vencer ó sostener una resistencia: tal es la potencia *b* (*fig.* 60), que por medio de la barra de hierro *b a*, y del punto de apoyo *a*, levanta la piedra *c*.

476 Es lo regular el considerar á la palanca como á una línea recta, inflexîble y sin peso, y como que determina las distancias y las posiciones de la potencia (470), de la resistencia (471), y del punto de apoyo (472). Si esta línea es curva, se reduce siempre su curvatura á la mas corta distancia que media entre la potencia y la resistencia, ó entre una y otra de estas fuerzas y el punto de apoyo. Si es pesada, como lo ha de ser precisamente,

Digitized by Google

su peso es por un lado parte de la potencia, y por otro parte de la resistencia; y esto se verifica siguiendo la relacion de distancia de estas fuerzas al punto de apoyo.

477 Se distingue tres especies de palancas. Se llama *palanca de primera especie*, aquella en que el punto de apoyo *c* (*fig.* 61) está colocado entre la potencia *a*, y la resistencia *b*. *Palanca de segunda especie* es aquella en que la resistencia *b* (*fig.* 62) está colocada entre la potencia *a*, y el punto de apoyo *c*. Ultimamente se llama *palanca de tercera especie*, aquella en que la potencia *a* (*fig.* 63) está colocada entre la resistencia *b*, y el punto de apoyo *c*. Las diferencias que se encuentra en cada una de estas especies de palancas se distinguen por las diferentes relaciones de distancia de la potencia, y de la resistencia al punto de apoyo. Así, en la palanca (*fig.* 64), si el punto de apoyo está en *a*, la potencia en *p*, y la resistencia en *r*, se dice que esta es una palanca de primera especie de brazos iguales: si el punto de apoyo está en *b*, es una palanca cuyo brazo de la potencia *p* está con el de la resistencia *r*, en la razon de 2 á 1; y si el punto de apoyo está en *c*, el brazo de la potencia está con el de la resistencia en la razon de 3 á 1, y así de las demas. Del mismo modo, si en la palanca de tercera especie (*fig.* 65), la potencia *p'* está aplicada en 1, es esta una palanca cuyo brazo de la potencia *p'* es al de la resistencia *r* como 1 es á 3; á causa de determinarse siempre la longitud del brazo de palanca por la distancia al punto de apoyo *c*. Pero si se aplica en 2 la potencia *p*, es esta una palanca cuyo brazo de la potencia *p* es al de la resistencia *r*, como 2 es á 3.

478 La distancia de estas fuerzas al punto de

Digitized by Google

apoyo es lo que determina sus velocidades, y estas velocidades estan siempre en la misma razon que estas distancias; porque, si estando en *c* (*fig.* 66) el punto de apoyo, una de las potencias está en *b*, y la otra en *a* á una distancia dupla del punto de apoyo, esta última *a* tendrá una velocidad dupla de la de la primera *b*. Porque si se moviera la palanca de *a* á *a'*, en tanto que *b* corria el arco *b b'*, *a* correria el arco *a a'*; cuyo último arco es duplo del otro, á causa de estar siempre los arcos en la misma razon que sus radios.

479 Como el esfuerzo de un cuerpo resulta de su masa multiplicada por su velocidad (64), se sigue de lo que acabamos de decir (478), 1.° que *un peso que obra por medio de una palanca, produce un esfuerzo tanto mas grande, quanto á mayor distancia se halla del punto de apoyo*; á causa de que entónces tiene mas velocidad.

480 2.° Que *dos pesos iguales, colocados opuestamente en una palanca, no estan en equilibrio si no se hallan á iguales distancias del punto de apoyo.*

481 3.° Que *dos pesos desiguales producen en la palanca esfuerzos iguales, quando sus distancias al punto de apoyo estan en razon recíproca de sus masas*: por la razon de que la ventaja que hay en la fuerza empleada, va siempre acompañada de una pérdida de tiempo, y recíprocamente.

En todo lo que acabamos de decir de la palanca, hemos supuesto siempre que una y otra potencias obraban en direcciones perpendiculares, ó igualmente obliqüas al brazo de palanca.

482 La posicion mas ventajosa de una potencia que obra por medio de una palanca, se verifica quando su direccion es perpendicular al brazo de la palanca por el qual obra. Así, en la palan-

Digitized by Google

ca (*fig.* 67), si la potencia *b* obra en la direccion *c b*, produce el mayor esfuerzo que puede producir: luego produciria un esfuerzo menor, si obrase siguiendo la direccion *c d*, ó *c e*. Pero si quando una de las potencias llega á estar en direccion obliqüa con respecto al brazo de la palanca sucede lo mismo á la otra potencia, de modo que las direcciones de estas dos potencias queden paralelas, tales como las direcciones *a c* y *b d* (*fig.* 68), tienen entónces entre sí una misma relacion. Mas si estas direcciones recibiesen diferentes grados de obliqüidad, aquella de las dos que se apartase mas del ángulo recto, debilitaria mas su potencia: por exemplo, si guardando su direccion perpendicular la potencia *p* (*fig.* 69), llegase á ser obliqüa la otra potencia, y obrase segun *a c*, ó *a d*, ó *a e*, ó *a f*, se debilitaria mas, y tanto mas quanto mas se apartase de la direccion perpendicular *a b*.

483 Si se quiere formar juicio de este grado de pérdida de fuerza, no hay mas que prolongar las direcciones obliqüas *a d*, ó *a f* (*fig.* 70) con unas líneas indefinidas *a i*, ó *a k*, y suponer que el brazo de palanca *c a* gira sobre el punto *c*, y describe con su extremidad *a* una porcion de círculo *a g h i k*: en la longitud de este brazo de palanca habrá un punto *n* ó *m*, sobre el qual caerá perpendicularmente la direccion prolongada *a i*, ó *a k*; pues sobre este punto es sobre quien exerce toda su fuerza la potencia, y no sobre la extremidad *a* del brazo de palanca; y su distancia al punto de apoyo *n c*, ó *m c*, igual á *b c*, ó *e c*, es menor; lo qual es lo mismo que si esta potencia, en lugar de estar aplicada obliqüamente en *a*, lo estuviese perpendicularmente en *b* ó en *e*. Pero como los radios *c e* y *c b* son iguales á los radios *c m* y *c n*, los quales son los senos de los ángulos que forman las di-

Digitized by Google

recciones *a d* y *a f* con el brazo de palanca, se puede comprehender de un modo mas general todo lo que acabamos de decir, y expresarlo con esta proposicion: *los diferentes esfuerzos de una potencia, aplicada á la extremidad de un brazo de palanca segun diferentes direcciones, son entre sí como los senos de los ángulos que forman estas direcciones con el brazo de palanca.* Mediante todo esto se dexa comprehender bien qual es la razon de que el esfuerzo de la potencia sea el mas grande que puede ser, quando su direccion es perpendicular á la palanca (482); pues que entónces forma esta potencia con el brazo de palanca un ángulo recto, cuyo seno es el radio entero, esto es, el brazo entero de la palanca.

484 Es indiferente que la direccion de la potencia, quando se aparta del ángulo recto, sea hácia dentro, ó hácia fuera de la palanca. Así, que una potencia obre segun la direccion *c d* (*fig.* 67), formando con la palanca *c i* un ángulo agudo, ó segun la direccion *c e*, formando con esta misma palanca un ángulo obtuso, con tal que en los dos casos se halle igualmente distante del ángulo recto, su fuerza se disminuirá igualmente, pues que dos ángulos que se apartan una cantidad igual del ángulo recto, el uno por defecto, y el otro por exceso, tienen el mismo seno. Dos ángulos, uno de 45 grados, y otro de 135, tienen un mismo seno.

485 En general, quando en una máquina compuesta, obran juntas muchas palancas, y las direcciones de las potencias forman con sus brazos de palanca ángulos iguales, ó igualmente obliqüos, *la potencia es á la resistencia, como el producto de los brazos de palanca de la resistencia es al producto de los brazos de palanca de la potencia*, en razon inversa de las velocidades.

Digitized by Google

486 Pues que en el caso del equilibrio, la potencia es siempre á la resistencia, como la distancia de la resistencia al punto de apoyo es á la distancia de la potencia al mismo punto de apoyo (481), se sigue que la potencia es, ó mas grande, ó mas pequeña, ó igual á la resistencia, segun que la distancia de la resistencia al punto de apoyo es, ó mas grande, ó mas pequeña, ó igual á la de la potencia. De aquí se debe concluir, 1.° que en la palanca de primera especie, puede ser la potencia, ó mas grande, ó mas pequeña, ó igual á la resistencia; 2.° que en la palanca de segunda especie, es siempre la potencia menor que la resistencia; 3.° que la potencia es siempre mas grande en la palanca de tercera especie; y que así esta última especie de palanca, bien léjos de ayudar á la potencia, en quanto á su fuerza absoluta, no hace al contrario mas que perjudicarla. Sin embargo, esta última especie de palanca es la que emplea la naturaleza mas freqüentemente en el cuerpo humano (*véase Borelli, de motu animalium*). Por exemplo, quando levantamos un peso con la mano, debe considerarse este peso como fixo á un brazo de palanca, de la que el punto de apoyo está en el codo, y cuya longitud por conseqüencia es igual al antebrazo. Este mismo peso está sostenido en este estado por la accion de los músculos, cuya direccion es muy obliqüa á este brazo de palanca, y cuya distancia por conseqüencia del punto de apoyo es mucho menor que la del peso (483): así, el esfuerzo de los músculos debe ser mucho mas grande que el peso. Para dar razon de esta estructura, se observará que quanto mas próxîma está la potencia, aplicada que sea á una palanca, al punto de apoyo, ménos espacio tiene que andar para hacer correr al peso una distancia qualquiera (478). Ahora, como el espacio

Digitized by Google

que tiene que correr la potencia era lo que la naturaleza tenia que economizar mas en la estructura de nuestro cuerpo; hizo, por esta razon, que la direccion de los músculos estuviese poco distante del punto de apoyo; dándoles mayor fortaleza en la misma proporcion.

487 Lo que hemos dicho arriba (480) parece que lo contradice una máquina ideada por M. de *Roberval*, á la qual se ha dado el nombre, por esta razon, de *balanza de Roberval*. Parece que presenta esta máquina una paradoxa de mecánica, relativamente á la propiedad de la palanca. He aquí en lo que consiste esta paradoxa. Se une á una regla abierta $a\,b$ (*fig.* 71) otras dos reglas $f\,c$, $e\,d$, por medio de dos pernios, al rededor de los quales son movibles estas reglas: se une del mismo modo á las extremidades de estas últimas reglas otras dos reglas $f\,e$, $c\,d$, tambien movibles al rededor de los puntos c, d, e, f, por los quales estan unidas con las anteriores; de modo, que el rectángulo $f\,c\,d\,e$ pueda tomar la figura ó situacion que se quiera, como, por exemplo, la situacion $f'\,c'\,d'\,e'$: en medio de la regla $f\,e$, así como de la regla $c\,d$, se coloca otras dos reglas $b\,g$, $i\,k$, una enfrente de otra, perpendiculares, y fixamente unidas cada una á su regla. Esto hecho, en qualquier sitio de estas últimas reglas que se enganche los pesos iguales b k, siempre estan en equilibrio, aun en el caso en que uno de los pesos k esté colocado en i, mucho mas cerca de los puntos de apoyo a y b, que lo que lo está el peso b. ¿Qué se ha hecho pues, dicen, la regla general (480), de que *dos pesos iguales, colocados opuestamente en una palanca, no estan en equilibrio si no se hallan á iguales distancias del punto de apoyo*?

488 Se dará razon fácilmente de esta especie de

paradoxa, si se hace atencion al modo con que los pesos *b*, *k*, obran el uno en oposicion del otro. Para entenderlo bien, se resolverá los esfuerzos de los pesos *b*, *k* (*fig.* 72), cada uno en dos, de los quales el uno, con respecto al peso *b*, esté en la direccion *b f*, y el otro en la direccion *b e*; y con respecto al peso *k*, esté el uno en la direccion *k c*, y el otro en la direccion *k d*. Ahora, el esfuerzo *k c* se descompone aun en dos esfuerzos *c i*, y *c l*; y del mismo modo *k d* se descompone en dos esfuerzos *d i*, y *d m*. Luego la regla *c d* está tirada en la direccion *c d*, por una fuerza igual á *c i*, mas *i d*, en tanto que los esfuerzos *c l*, y *c i* se destruyen mútuamente. Del mismo modo se hallará que la regla *f e* está tirada, en la direccion *f e*, por una fuerza igual á *f g* mas *g e*. Luego, pues que *b c* es igual á *b f*, y *c d* es igual y paralela á *f e*, los dos esfuerzos, segun *c d*, y *f e*, deben equilibrarse.

489 A esto es á lo que se llama la *descomposicion de las fuerzas vivas*, muy en uso en la estática y en la mecánica. En esta descomposicion, las direcciones y los valores de dos fuerzas, por exemplo, *c i*, y *c l*, en las quales se descompone la fuerza dada *c k*, estan representadas por los dos lados *c i*, *c l*, de un paralelógramo *c i k l*, cuya diagonal *c k* representa la direccion y el valor de la potencia dada.

490 El punto de apoyo en la palanca, puede mirarse como una tercera potencia que hace equilibrio á la fuerza motriz y á la resistencia, ó que concurre con una de las dos á sostener el esfuerzo de la otra.

491 En las palancas de primera especie (477), el punto de apoyo *e* (*fig.* 68), que se halla colocado entre la potencia *b*, y la resistencia *i*, sostie-

Digitized by Google

ne el esfuerzo absoluto de estas dos fuerzas, quando las direcciones *b f*, é *i g* de estas fuerzas son paralelas entre sí; y el esfuerzo que se hace entónces sobre el punto de apoyo *e*, se hace en una direccion *e l* paralela á la de estas fuerzas. Pero si las direcciones *a b* (*fig.* 73) de la potencia, y *c d* de la resistencia, estan inclinadas la una á la otra, el punto de apoyo *e* está cargado con una cantidad menor que la suma total de las dos fuerzas; y de una cantidad tanto menor, quanto esta inclinacion es mas grande; y el esfuerzo que se hace entónces sobre el punto de apoyo *e*, se hace en una direccion *e f*, que se dirige al punto de concurso *f* de las direcciones de las potencias.

492 Lo mismo sucederia si las potencias *g* y *b* (*fig.* 73) estuviesen en equilibrio entre sí por desigualdad de distancia al punto de apoyo *i*, esto es, en el caso en que sus masas estuviesen en razon inversa de sus distancias *c i*, é *i a* al punto de apoyo (481). La carga, sobre este punto de apoyo, no seria nunca mas grande que la suma real de las dos fuerzas, ó la suma de las masas opuestas: seria igual la carga á esta suma, si las direcciones de las potencias fuesen paralelas entre sí, como *g a*, *b c*; pero seria menor que esta suma, si estas direcciones estuviesen inclinadas la una á la otra, como *b a*, *d c*; y entónces el esfuerzo sobre el punto de apoyo *i* se haria en una línea *i k*, que se dirigiria al punto de concurso *k* de estas direcciones. Si, en este caso, el punto de apoyo no está nunca cargado mas que de la suma real de las masas opuestas, no obstante producir la masa menor un esfuerzo tan grande como la mayor; procede esto de que esta masa menor no produce un esfuerzo tan grande sino porque tiene mas velocidad; y la velocidad no tiene peso alguno.

Digitized by Google

493 En las palancas de segunda y de tercera especie (477), el punto de apoyo no sostiene mas que una parte del esfuerzo de la una de las dos fuerzas; es decir, que concurre con la potencia en las palancas de segunda especie, ó con la resistencia en las palancas de tercera especie, para sostener el esfuerzo de la otra, como quando dos hombres llevan un peso qualquiera, por medio de un palo apoyado sobre sus hombros. Estos dos hombres, de los quales el uno puede considerarse como la potencia, y el otro como el punto de apoyo, no sostienen cada uno mas que una parte del peso; y aquel de los dos que se halla mas próximo al peso, sostiene una porcion mayor de él, la qual está en *razon* de esta proximidad.

De la Polea.

494 La polea, una de las seis máquinas que se consideran como simples (*fig.* 74), es un cuerpo redondo, plano, movible sobre su exe *a*, y en cuya circunferencia *a b* (*fig.* 75) se halla una garganta ó carril, que recibe la cuerda *b c d e*, ó *f g d e*, ó *b i g d e* (*fig.* 74), á la qual se aplica por una parte la potencia *b*, ó *f*, ó *b*, y por la otra la resistencia *e*. Esta garganta ó carril *a b* (*fig.* 75), no se hace redonda sino en ángulo, como se ve en la figura, á fin de que la cuerda, estando en algun modo sujeta en este ángulo, no se deslice por la garganta.

495 Se forman ordinariamente las poleas de madera ó de metal, y se les hace girar sobre su exe *c d*: seria mejor, sobre todo si son de madera, fixar el exe en la polea, y hacer que girase todo junto en los agujeros del asa ó *armas c e d* que sostienen la polea; por la razon de que haciéndose entónces el movimiento sobre ménos superficie, habria ménos

Digitized by Google

rozamiento; y de que si los agujeros de las armas llegaban á agrandarse, como es sola la parte inferior la que recibe el esfuerzo, se alargaria el agujero, y la polea descenderia un poco, pero no giraria ménos circularmente; lo que no sucede quando la polea gira sobre su exe, pues entónces se hace mayor el agujero que recibe el exe, por lo regular sin igualdad en todas direcciones.

496 Es la polea una máquina, por medio de la qual se puede elevar pesos de un modo mas cómodo ó mas ventajoso: mas cómodo, haciendo que el movimiento sea continuo, y variando la direccion del movimiento, á fin de que exerza toda su fuerza la potencia que obra; de modo, que por este medio, puede vencer una resistencia vertical un caballo que no puede exercer su fuerza sino horizontalmente: mas ventajoso, haciendo levantar un gran peso con una fuerza menor. En efecto, por medio de una polea, 1.° la potencia puede tirar en toda suerte de direcciones, sin perder nada de su fuerza, á causa de que la cuerda, por la qual obra, es siempre tangente á la circunferencia de la polea, y por conseqüencia siempre perpendicular al radio *a i*, ó *a c*, ó *a g* (*fig.* 74), que es la direccion mas ventajosa (482). 2.° Como las potencias que se aplican á las poleas, obran tanto mas fuertemente, quanto su distancia al exe es mas grande, en sirviéndose de una polea que tenga muchas gargantas (*fig.* 76), ó en poniendo sobre un mismo exe muchas poleas de diferentes diámetros, aquella de las potencias que obre á mayor distancia del exe *d*, tendrá la ventaja sobre las otras. Así, si se supone en *e* un peso de 12 libras, se necesitará en *f* 12 libras para sostenerle, á causa de que los radios *d e*, y *d* 1 son iguales. Pero no se necesitaria mas que 6 libras en *g*, porque el radio *d* 2 es duplo del radio *d e*; ni

Digitized by Google

mas que 4 en *b*, por ser el radio *d* 3 triplo del radio *d c*.

En todos estos casos hace la polea el oficio de palanca de primera especie (477); porque se la puede considerar como un conjunto de palancas fixas, cuyo punto de apoyo comun está en el centro. Todas estas palancas tienen brazos iguales en las poleas de una sola garganta (*fig.* 74), y desiguales en las poleas de muchas gargantas (*fig.* 76). Todas estas poleas son inmóviles.

497 Acabamos de decir (496) que por medio de una polea de muchas gargantas (*fig.* 76) se pueden hacer iguales las acciones de dos potencias desiguales entre sí: se puede del mismo modo mantener el equilibrio, ó una relacion constante entre dos potencias cuyas fuerzas relativas varien continuamente. Para esto se puede hacer uso de una polea, que en lugar de muchas gargantas concéntricas, no tenga mas que una, pero que tome la forma de una espiral, y aumente por consiguiente poco á poco de diámetro, conforme la proporcion segun la qual aumenta la intensidad de una de las dos fuerzas. Tómese, por exemplo, una polea *a* (*fig.* 77), cuya garganta esté hecha en espiral, y cuya seccion ó corte se ve en *b c d e*: fíxese en el centro de esta polea un barrilete *f*, en el qual haya un muelle semejante al de un relox. Si la fuerza de este muelle es tal que una potencia qualquiera, un peso, por exemplo, obrando por *g f*, le tiene en equilibrio, quando se haya dado al muelle 3 ó 4 vueltas mas, el mismo peso le tendrá aun en equilibrio obrando por *i b*; siempre que se haya prolongado el radio *f b* en la proporcion que ha aumentado la intensidad de la fuerza del muelle. Lo que se dice de este punto *b*, se puede decir de todos los demas. De adonde se sigue que estas dos potencias, el

Digitized by Google

muelle y el peso, guardarian siempre entre sí la misma relacion, aun quando la intensidad de la una de las dos variase continuamente. Este es el medio que se ha tomado en la reloxería, para hacer uniforme la accion de los muelles en los reloxes durante todo el tiempo de su desarrollo.

498 El exe *a* (*fig.* 74) de una polea simple no puede nunca estar cargado de una fuerza mayor que de la igual á la suma de las dos potencias *b* y *e*, y puede estarlo de una cantidad menor. Quando las direcciones *b c* y *d e* de las dos potencias son paralelas, esto es, quando la cuerda abraza la mitad de la circunferencia de la polea, está cargado el exe de una fuerza igual á la suma de las dos potencias. Pero si las direcciones *f g* y *e d* de estas dos potencias son obliqüas entre sí, no está cargado el exe mas que con una fuerza menor á la de la suma de las dos potencias; y en este caso *la fuerza con que el exe está cargado, es á la suma de las fuerzas de las dos potencias, como la subtensa* d g *del arco que abraza la cuerda, es al diámetro* d c; y el esfuerzo se hace entónces sobre el exe *a*, en una direccion que pasando por *a*, se dirige al punto de concurso de las direcciones *f g* y *e d* de las dos potencias.

499 En todos estos casos la fuerza *b* debe ser igual á la resistencia *e* para que haya equilibrio. De adonde se sigue que la polea simple no ayuda á la potencia, aunque ni tampoco la perjudica; y que solamente es á propósito, como lo hemos dicho arriba (496), para conservar la potencia en su direccion mas ventajosa, para variar la direccion del movimiento, y para hacer que este movimiento sea continuo.

500 Se puede tambien considerar la polea como una palanca de segunda especie (477); pues que tie-

Digitized by Google

ne efectivamente sus propiedades, quando la resistencia *b* (*fig.* 78) está unida á las armas *c a*, y quando uno de los cabos de la cuerda, que se hace pasar entónces por debaxo de la polea, está atado al punto fixo *d*, en tanto que el otro cabo está tirado ó sostenido por la potencia *e*; en cuyo caso es movible la polea, subiendo ella misma con el fardo. Luego representa una palanca de segunda especie *f g*, cuyo punto de apoyo está en *f*, y que está dividida en dos partes iguales *f c*, *c g*, por la direccion *c b* de la resistencia *b*; siendo esta la razón en este caso, de que la potencia *e* no tenga necesidad de ser mas que la mitad de la resistencia *b* para tenerla en equilibrio: y si el fardo sube, la potencia *e* anda un camino duplo del de la resistencia *b*, y tiene por conseqüencia una velocidad doble: porque supongamos que el centro *c* de la polea suba al punto *i*, entónces no queda por baxo de la línea *e d* mas que la porcion de cuerda *que* pasa por baxo de la polea: luego las dos porciones *f d* y *g e*, ó sus equivalentes, han pasado á la parte superior; pero *f d* y *g e*, que indican el espacio corrido por la potencia, son, tomadas juntas, duplas de *c i*, espacio corrido por la polea; luego la potencia tiene una velocidad dupla de la de la resistencia. En el caso presente, abraza la cuerda la mitad de la circunferencia de la polea, y las direcciones de las dos potencias son paralelas: luego el brazo de palanca de la potencia es el diámetro *g f* de la polea, y el de la resistencia no es otro mas que el radio *c f*. Esta es la razon de que para que haya equilibrio, *es preciso que la potencia sea á la resistencia, como el radio es al diámetro.*

501 Pero si las direcciones de las potencias fuesen obliqüas entre sí; si, por exemplo, uno de los cabos de la cuerda estuviese atado al punto fixo *k*,

Digitized by Google

ca tanto que el otro cabo esté tirado ó sostenido por la potencia *m*, representará tambien la polea una palanca de segunda especie *n o*, cuyo punto de apoyo estará en *n*, y cuya palanca estará dividida en dos partes iguales *n a*, *a o*, por la direccion *c b* de la resistencia; y entónces *la potencia* m *deberá ser á la resistencia* b, *como el radio* c f *es á la subtensa* o n *del arco que abraza la cuerda*: tanta podria ser la obliqüidad en este caso, que se necesitase una potencia mayor que la resistencia.

502 Si en lugar de tirar de abaxo arriba, fuere mas cómodo el tirar de arriba abaxo, se añadirá, por cima de la polea móvil *a* (*fig.* 79), una polea inmóvil *b*, que no alterará nada el valor de la potencia (499). Y si la potencia no fuese bastante fuerte para levantar el fardo ó peso, se añadirá aun una segunda polea movible, y otra polea inmóvil (*fig.* 80), ó aun un número mayor; con lo que adquirirá la potencia mucho valor. Este conjunto de poleas, de las que las unas son inmóviles y las otras movibles, y que todas ellas estan ceñidas por una misma cuerda, es á lo que se llama *garruchas* ó *tróculas*, y en términos de marinería, *aparejo* ó *aparejo real*. Las poleas inmóviles 2 y 4 estan una y otra colocadas en una misma asa ó armas, y las poleas movibles 1 y 3 en otra asa. La parte inferior *a* de las armas en donde se hallan las poleas inmóviles, sirve de punto fixo á uno de los cabos de la cuerda; y la parte inferior *b* de las armas que contienen las poleas movibles es el sitio en donde se engancha el peso ó fardo.

503 Se puede por medio de este conjunto de poleas levantar muy grandes pesos con una fuerza pequeña; por hallarse demostrado que *la fuerza necesaria para sostener un peso por medio de las tróculas, es al mismo peso, como la unidad es al du-*

plo del número de las poleas movibles, quando las direcciones de las cuerdas son bien paralelas entre sí: y las potencias estan entónces, como lo hemos dicho arriba (500), en razon inversa de las velocidades.

504 De adonde se sigue que dado el número de poleas movibles y la potencia, se halla fácilmente el peso que la trócula podrá sostener, multiplicando la potencia por el duplo del número de poleas movibles. Por exemplo, supongamos que la potencia sea igual á 100 libras, y que el número de las poleas movibles sea 3: 100 multiplicado por 6, duplo de 3, igual 600, que es el peso que puede sostener esta trócula.

505 Del mismo modo, dado el número de poleas movibles, así como el peso que debe sostener la trócula, se hallará la potencia necesaria, dividiendo el peso por el duplo del número de poleas movibles. Supongamos pues que el peso sea igual á 800 libras, y que el número de poleas movibles sea 4: 800 dividido por 8, duplo de 4, dan al cociente 100 libras, que es la fuerza necesaria para sostener, con una tal trócula, el peso de 800 libras.

506 Para encontrar el número de poleas movibles que debe tener una trócula, á fin de sostener un peso dado con una potencia dada, es preciso dividir el peso por la potencia; y la mitad del cociente es el número que se busca. Supongamos, por exemplo, que el peso sea 500 libras, y la potencia 50: se necesita que la trócula tenga 5 poleas movibles; porque 500 dividido por 50, da 10 al cociente, cuya mitad es 5.

507 En todos estos casos, hemos supuesto (503) que las direcciones de las cuerdas son paralelas entre sí. Si son obliqüas, entónces *la resistencia ó el peso que se ha de sostener es á la potencia, como*

Digitized by Google

la suma de los senos de los ángulos que las cuerdas tangentes á las poleas movibles forman con el horizonte, es al seno total. Luego es preciso, en este caso, que la potencia sea mas grande de lo que hemos dicho; siendo esta la razon que hay para hacer de modo que las direcciones de las cuerdas sean bien paralelas entre sí.

508 Para impedir que las cuerdas se rozen las unas contra las otras, lo qual ocasionaria una grande resistencia, y el que se destrozase y consumiese la cuerda, se suele emplear, en una misma trócula, poleas de diámetros diferentes; lo qual es un inconveniente bastante grande, á causa de la rigidez ó inflexibilidad de la cuerda (576). Pero es mejor poner las poleas de cada trócula, la superior y la inferior, paralelamente entre sí; colocándolas en una asa comun, y haciéndoles atravesar con un pernio comun, como se ve en la *figura* 81, en la que todas las poleas son de diámetros iguales. Esta especie de tróculas está muy en uso, sobre todo en las embarcaciones; es verdad que los cordones no estan en ellas exâctamente paralelos; pero este defecto es poco considerable.

509 En los cálculos precedentes (503 *y siguientes*) hemos prescindido de la resistencia de los rozamientos, y de la que nace de la rigidez y del peso de las cuerdas (572 *y siguientes*); por cuyas resistencias es preciso aumentar la potencia, y hacerla mas grande de lo que hemos supuesto. Puede tambien suceder que aumentando el número de las poleas, se aumente de tal modo estas resistencias, que hagan mas que compensar el incremento de fuerza que resulta del aumento de número de poleas.

Digitized by Google

De las Ruedas.

510 Pueden considerarse las ruedas, del mismo modo que las poleas, como unos conjuntos de palancas. Las hay de dos especies: las unas giran siempre en un mismo sitio sobre un exe que está fixo á su centro, y cuyos extremos giran en unos agujeros que sirven de apoyo: tales son las ruedas de los relojes, de los molinos, de los asadores, &c. Estas especies de ruedas reciben el movimiento ó le transmiten en virtud de ciertas partes salientes que se quita ó añade á su circunferencia, y que se llaman *dientes*, *clavijas*, &c. Las ruedas de la otra especie ruedan sobre su circunferencia, llevando su centro y el exe que le atraviesa, en una direccion paralela al plano ó al terreno que corren: tales son las ruedas de los carruages, como coches, carros, &c. Estas especies de ruedas tienen dos movimientos; *el* uno el de su centro que se avanza en línea recta, y el otro, el de todas sus partes que circulan al rededor de este centro.

511 Quando se trata de las ruedas de la primera especie, se coloca ordinariamente sobre un mismo árbol ó exe, una rueda grande y otra pequeña, llamada esta última por otro nombre *piñon*, y de la que los dientes ó las alas encaxan con los dientes de otra rueda grande. En las máquinas grandes se substituye freqüentemente á los piñones, para que ocupen su lugar y hagan su oficio, unas *linternas* que no son otra cosa mas que unos cilindros ó husos paralelos entre sí, y colocados en redondo entre dos planos circulares: entónces los dientes de la rueda encaxan con los husos de la linterna, como lo harian con las alas de un piñon; en cuyos dos casos viene á ser absolutamente uno mismo el mecanismo,

Digitized by Google

por ser uno mismo el encaxe de las ruedas.

512 Las ruedas de la primer especie (510), aquellas en que los exes no hacen mas que girar en un mismo sitio, deben considerarse como unas palancas de primera especie (477), cuyos brazos son los rayos de las ruedas, y de los piñones, y que tienen su punto de apoyo en el exe. Sean pues tres ruedas *a b c* (*fig.* 82), y sus piñones correspondientes *a' b' c'*: el piñon, ó lo que es lo mismo, el cilindro *a'*, sostiene un peso *d*; la rueda *a*, que tiene el mismo exe que el cilindro *a'*, encaxa con el piñon *b'*; la rueda *b*, que tiene el mismo exe que el piñon *b'*, encaxa con el piñon *c'*; la rueda *c*, que tiene el mismo exe que el piñon *c'*, está tirada en su circunferencia por la potencia *e*; y todo el sistema se halla en equilibrio. Se ve, que aquí el peso *d* obra por los radios de los piñones, y que la potencia *e* obra por los radios de las ruedas. Suponganos que los radios de las ruedas sean quadruplos de los radios de los piñones; que los primeros sean, por exemplo, de 8 pulgadas, y los otros de 2 pulgadas: como es preciso, para que haya equilibrio, que *la potencia sea á la resistencia, como el producto de los brazos de palanca de la resistencia es al producto de los brazos de palanca de la potencia* (485), esto es, en razon inversa de la longitud de los brazos de palanca, se buscará estos productos, multiplicando unos por otros los radios de las ruedas, y los radios de los piñones; el primer producto será 512, y el segundo 8; en cuyo caso la potencia *e* debe ser al peso *d*, como 8 es á 512, ó como 1 es á 64.

513 De adonde se sigue que en caso de equilibrio, qualesquiera que sean los diámetros de las ruedas y de los piñones, *la potencia es á la resistencia, como el producto de los radios de los piñones es al producto de los radios de las ruedas*. En esto se ve

Digitized by Google

que esta especie de máquinas pueden dar á la potencia una ventaja muy grande sobre la resistencia, relativamente á la fuerza. Pero esta ventaja se adquiere á expensas de la velocidad, quando la máquina pasa del reposo al movimiento; por perderse siempre en velocidad lo que se gana en fuerza, y recíprocamente.

514 Suele ser indispensable muchas veces, sobre todo en la reloxería, que el número de revoluciones de las ruedas y de los piñones tengan entre sí una cierta relacion: se conseguirá esto dando á las ruedas y á los piñones los números convenientes de dientes y de alas: por exemplo, si se quiere que una rueda no haga mas que una revolucion en el tiempo en que un piñon hace 4, será necesario dar á la rueda 4 veces tantos dientes como alas tiene el piñon. Así, si suponemos 4 ruedas *a b c d* (*fig.* 83), de las que, la primera *a* encaxe con el piñon *b'* fixo en la segunda *b*; que esta encaxe con el piñon *c'* fixo en la tercera *c*; que esta tercera encaxe con el piñon *d'* fixo en la quarta *d*; y en fin que esta quarta encaxe con el último piñon *e*: para tener la relacion del número de revoluciones de la primera rueda *a* con el número de revoluciones del último piñon *e*, es preciso multiplicar el número de los dientes de la rueda *a*, por el número de los dientes de la rueda *b*; este primer producto, por el número de dientes de la rueda *c*; y el segundo producto por el número de dientes de la rueda *d*: en seguida se necesita multiplicar el número de las alas del piñon *b'* por el número de las alas del piñon *c'*; este primer produoto, por el número de las alas del piñon *d'*; y el segundo producto, por el número de alas del último piñon *e*; y los últimos productos de los dientes de las ruedas y de las alas de los piñones, darán la relacion buscada.

Digitized by Google

515 Se puede pues establecer por regla general, que *el número de las revoluciones de la primera rueda* 2, *es al número de las revoluciones del último piñon como el producto de las alas de los piñones es al producto de los dientes de las ruedas.* Se ve en esto que no es preciso determinar el número de alas y de dientes que cada piñon y cada rueda debe tener en particular; sino que es suficiente que la relacion del producto de todas las alas, con el producto de todos los dientes, sea la misma que la que se desea.

516 Por medio de las ruedas de esta especie, se puede transmitir á lo léjos la accion de una potencia, mudar la direccion del movimiento, y hacer variar la velocidad en una y otra potencias. 1.° Si en lugar de aplicar el piñon *a* (*fig.* 84) inmediatamente sobre la rueda *b*, se fixa este piñon *a* á la otra extremidad del exe prolongado, tanto como sea preciso, se podrá transmitir de este modo la accion de la potencia que obre por el manublio *c*, á una cierta distancia por medio del piñon *a* fixo á la extremidad del exe.

2.° Si este piñon *a* encaxa con otra rueda *d*, que tenga los dientes paralelos á su exe, el movimiento que se le transmitirá mudará de direccion, haciéndose horizontal de vertical que era.

517 3.° En fin, si la rueda *d* tiene quatro veces tantos dientes como alas el piñon *a*, como este piñon no puede moverse sin la rueda vertical *b*, es preciso que uno y otra den quatro vueltas para que la rueda horizontal *d* dé una; y recíprocamente, si se le hace dar una revolucion á esta, se le hará dar quatro al piñon *a* y á la rueda vertical *b*. Si se supone pues en cada una de las dos ruedas grandes *b* y *d* un manublio *c* ó *e* movido por un hombre que le haga dar una revolucion en un segundo,

Digitized by Google

la velocidad será quatro veces tan grande, quando mueva el manublio *e*, como si obrase con el manublio *c*. Es verdad que entónces se necesitará emplear quatro veces tanta fuerza, á causa de que se pierde siempre en fuerza, lo que se gana en velocidad; y recíprocamente, se pierde siempre en velocidad lo que se gana en fuerza. La libertad de poder escoger es una cosa ventajosa.

518 En quanto á las ruedas de la segunda especie (510) que tienen dos suertes de movimiento, como las de los carruages, cuyo centro se avanza en línea recta, en tanto que las otras partes giran al rededor de él, se las debe mirar las mas veces como una palanca de segunda especie, que se repite tantas veces como puntos se puede imaginar en la circunferencia; porque cada uno de estos puntos es la extremidad de un radio *a b* (*fig.* 85) apoyado por una parte sobre el terreno *b*; y el otro cabo *a*, cargado del exe que lleva el carruage, es tirado á un mismo tiempo por la potencia *c* que le conduce. De modo, que si el plano estuviera perfectamente unido y á nivel, si la circunferencia de las ruedas fuera bien redonda, y no tuviera desigualdades, si no hubiera rozamiento alguno entre el exe y el cubo de la rueda, y últimamente, si la direccion de la potencia subsistiera siempre bien paralela al plano, una fuerza pequeña llevaría un carro muy cargado; á causa de que la resistencia que procede de su peso, carga enteramente sobre el terreno por el radio *a b*, ó por otro semejante que le suceda en el instante despues.

519 Pero de todas las condiciones que acabamos de suponer, y cuyo concurso seria necesario para producir este efecto, apénas se encuentra alguna en el uso ordinario. Las ruedas de los carros estan redondeadas groseramente, y guarnecidas de clavos

Digitized by Google

grandes: los caminos son naturalmente desiguales, ó lo llegan á ser con el peso de los carruages, que los echa á perder; y estas desigualdades, ya sea de las ruedas, ya del terreno, son causa de que la rueda se apoye con un rayo *a d*, ó *a e* obliqüo á la direccion *a c* de la potencia, ó á la direccion *a b* de la resistencia. Luego el peso que reside en *a* resiste á la potencia, que no puede hacerle avanzar mas que haciéndole subir tanto como el punto *d* ó *e* es superior al punto *b*; luego la potencia tiene precision entónces de sostener una parte del peso del carruage, del mismo modo que si este estuviera colocado sobre un plano inclinado. Por otra parte, aun quando la circunferencia rodase sobre unas superficies perfectamente unidas, rectas y duras, habia de haber indispensablemente un rozamiento considerable entre el exe y los cubos.

520 Los hoyos y eminencias que se encuentra en los caminos hacen mudar tambien la direccion de la potencia: un caballo colocado mas alto ó mas baxo, por la disposicion del terreno, en lugar de hacer su esfuerzo por la línea *a c* paralela á la porcion del plano en que insisten naturalmente las ruedas, le hace las mas veces por *a f*, ó *a g*; esto es, obliqüamente á la direccion *a b* de la resistencia, y por conseqüencia con desventaja; porque un carruage que se mueve con bastante facilidad en virtud de la fuerza de una sola caballería por un terreno horizontal, necesita por lo comun muchas caballerías para moverse por un plano que se va elevando, aunque no sea en grande cantidad.

521 En general, para mover un peso qualquiera por un terreno desigual y escabroso, como lo son quasi todos, es mas ventajoso que la potencia obre en una direccion un poco mas elevada, como la línea *a g*, así como lo prueban *Stevin*, *Wallis* y *De-*

parcieux; luego es preciso que el exe de las ruedas esté un poco mas baxo que el pecho de las caballerías; lo qual hace que la direccion de la potencia se aproxíme mas al paralelismo de cada uno de los pequeños planos inclinados que forman las desigualdades del terreno.

522 Pero si no fuere posible evitar tòdas estas dificultades, se puede no obstante prevenirlas en parte, empleando mas bien ruedas grandes que pequeñas; por ser cierto que las ruedas pequeñas se encaxan mas que las grandes en los hoyos del terreno, como se puede ver en la *fig.* 86, en donde el rayo *a b* de la rueda pequeña, que insiste *contra* el terreno quando va á salir del hoyo la rueda, es mucho mas obliqüo á la direccion *a c* de la potencia, que lo que lo es el rayo *d b* de la rueda grande, á la direccion *d e*. A mas, como la circunferencia de una rueda grande mide, rodando, mas camino que la de una rueda pequeña, da vueltas con ménos velocidad, ó hace un número menor de revoluciones para correr un espacio dado; lo qual ahorra una parte de rozamiento.

De la Cabria.

523 La cabria ó torno, una de las seis *máquinas* reputadas como simples, es un árbol ó cilindro, que gira sobre su exe, sostenido sobre dos puntos fixos: por medio de esta máquina se hace subir, con una fuerza pequeña, un gran peso atado á una cuerda, que se arrolla sobre el cilindro; lo qual se efectua con el auxílio de una especie de tambor fixo á una de las extremidades del cilindro, y que por lo comun tiene en su circunferencia unas especies de clavijas ó palancas.

524 En el uso ordinario, en lugar de tambor, no se hace mas que fixar á una de las extremida-

Digitized by Google

des del cilindro *a b* (*fig.* 87) unas palancas cruzadas *e f*, *g h*, por medio de las quales se hace girar al cilindro sobre su exe *c d*, en tanto que la cuerda, que sostiene al peso *i*, se arrolla sobre el cilindro *a b*. Es fácil ver, que el efecto de la cabria viene á ser el mismo que el de una palanca de primera especie: porque supongamos que *a b* (*fig.* 88) representa el radio del cilindro; y que *a c* representa el brazo de palanca por el qual obra la potencia *c*; si la longitud de *a c* es á la de *a b* como 3 es á 1, una potencia de 100 libras en *c*, obrando en una direccion perpendicular á *c a*, tendrá en equilibrio un peso *d* de 300 libras (481).

525 Se sigue de aquí, que para tener el equilibrio por medio de la cabria, es preciso que *la potencia* c *sea al peso* d, *como el radio* a b *del cilindro*, *es á la palanca* a c; ó lo que viene á ser lo mismo, *como el radio del cilindro es al radio del tambor*. Así, si en el estado de equilibrio la potencia es menor que el peso, en la razon del radio del cilindro al del tambor, tambien en el estado de movimiento la potencia camina mas apriesa que el peso, en la razon del radio del tambor al del cilindro. Esta regla supone que la potencia es siempre perpendicular al radio por quien ella obra; porque la direccion del peso es siempre perpendicular al radio del cilindro, pues que la cuerda que le sostiene es siempre tangente á su circunferencia.

526 En los grandes esfuerzos, como es preciso que los brazos de la palanca de la potencia sean muy largos, y como no se podria, mediante su longitud, alcanzar la extremidad del uno, en tanto que se tuviese la extremidad del otro; y como por otra parte no se podria aumentar demasiado el número de estos brazos de palanca, sin

Digitized by Google

debilitar considerablemente la cabeza del cilindro; se ha tomado el partido de reunir las extremidades de estos radios con una circunferencia á la qual se adapta unas clavijas, por las quales obran los hombres, como se ve en la rueda de las canteras (*fig.* 89), y en la grua (*fig.* 90).

527 Segun lo que acabamos de decir, es fácil ver que la parte principal, en la rueda de las canteras y en la grua, no es otra cosa mas que una cabria con tambor. Se ve tambien, que en la cabria (*fig.* 91) el cilindro *a b* es una cabria con palancas *c d*.

528 En la rueda de las canteras y en la grua, obran comunmente los hombres con su peso. Pero como no pueden afirmarse en la extremidad del radio horizontal, lo qual seria lo mas ventajoso, pues que la direccion de su peso, que es vertical, seria perpendicular á él; y como el peso de su cuerpo los hace estar mas baxos, es preciso entónces, para que haya equilibrio, que *su peso sea al fardo que sostiene, como el radio del cilindro es al seno del ángulo que forma la direccion vertical con el radio de la rueda, á la extremidad del qual obra*, en la misma razon que el esfuerzo de una potencia obrando obliqüamente á la extremidad de un brazo de palanca (483).

Si la cuerda que sostiene el peso llega á romperse, es muy grande el daño que puede seguirse á los hombres que estan agarrados á la rueda; porque desde el punto en que se rompe la cuerda, su peso les hace girar con velocidad, y adquieren una fuerza centrífuga que los arrastra por la tangente á riesgo de perder la vida. Se podria prevenir este inconveniente con una grua movida por una rosca sin fn: supongamos que esta rosca tenga 3 filetes, y que encaxe en un piñon de 18 alas, será preciso que

Digitized by Google

la rosca dé 6 vueltas para hacer dar una al piñon: sobre el exe de este piñon esté una linterna de 4 husos que encaxe en una rueda de 24 dientes colocada sobre el árbol: el piñon pues da 6 vueltas para hacer dar una á la rueda, y por conseqüencia al árbol. Así, la rosca sin fin da 36 vueltas en tanto que el árbol da una; y si la circunferencia que describe la extremidad del brazo del manublio con el qual se hace girar á la rosca sin fin, es á la circunferencia del árbol como 90 es á 45, la velocidad de la potencia (que es 36 veces el espacio que corre en cada vuelta la extremidad del brazo del manublio) es á la de la resistencia (que es la circunferencia del árbol) como 3240 es á 45, ó como 72 es á 1, ó como 2160 es á 30. Ahora, un hombre puede, á lo ménos por un poco de tiempo, hacer un esfuerzo de 60 libras; luego podria él solo levantar 4320 libras. En efecto, yo he visto levantar á un hombre solo, por medio de una grua semejante, un peso de cerca de 5000 libras. A mas, se puede aplicar dos ó mas hombres á esta especie de grua, y vencer con esto esfuerzos muy considerables: se encuentra tambien en ella otra ventaja, y es que se puede parar y descansar quando se quiera, sin temor de que descienda el fardo.

Del Cabrestante.

529 Es el Cabrestante una verdadera cabria, de la qual no difiere mas que por la posicion de su cilindro, que es vertical, en tanto que en la cabria es horizontal. El modo con que una potencia obra sobre una resistencia, por medio de la cabria (525), es enteramente aplicable al cabrestante; pero el cabrestante es mucho mas ventajoso que la cabria, 1.° porque la potencia puede obrar siempre perpen-

Digitized by Google

dicularmente á su brazo de palanca; 2.º porque se puede aplicar á él un gran número de hombres á un mismo tiempo.

530 Es pues el cabrestante una máquina por medio de la qual se puede vencer resistencias muy grandes con potencias mucho menores. Así, se sirven de él en las embarcaciones para elevar las anclas ú otros fardos, á los quales se amarran los cables que se arrollan sobre el cilindro. Se hace tambien uso de él en los puertos para traer las embarcaciones á tierra quando hay necesidad de ello, y para sacar de un barco al puerto masas extremamente pesadas, como trozos de mármol, &c.

531 El modo ordinario de servirse del cabrestante, es hacer dar sobre el cilindro *a b* (*fig.* 92) dos ó tres vueltas á la cuerda *c d*, que tiene la resistencia hácia *d*, en tanto que unos hombres tiran con toda su fuerza la parte *c* de la cuerda, para estorbar el que se deslice por el cilindro: es entónces tan considerable el rozamiento de la parte de la cuerda que está arrollada al rededor del cilindro, que aunque el peso de la resistencia exceda con mucho á la fuerza de los hombres que tienen la cuerda, no puede sin embargo vencerla, ni hacer que se deslice la parte de la cuerda arrollada al rededor del cilindro. Si se ponen en seguida unos hombres á las palancas *e*, *f*, *g*, *h*, y hacen girar el cilindro, traerán hácia sí la resistencia; durante cuyo tiempo, los hombres que tiran la parte *c* de la cuerda la van recogiendo, de modo que no quede nunca sobre el cilindro mas vueltas que las que tenia al principio; por no poderse arrollar por un lado sin que se desarrolle por el otro.

532 Es fácil de ver que el cabrestante obra como una palanca sin fin de la primera ó segunda especie de brazos desiguales (477), y que el brazo de

Digitized by Google

la resistencia es mucho mas corto que el de la potencia; pues que el brazo de palanca por quien obra la resistencia, es el radio del cilindro; y el brazo de palanca por quien obra la potencia, es este mismo radio prolongado por una de las palancas en cruz *e*, *f*, *g*, *b*. Quanto mas longitud tengan estas palancas, mas capaz se hará la potencia para vencer una grande resistencia; pero necesitará mas tiempo, pues que tendrá que correr un camino mas largo. Supongamos que *b e* (*fig.* 88) sea el diámetro del cilindro cuyo centro está en *a*; *a b*, radio de este cilindro, el brazo de palanca por el qual obra la resistencia *d*; *a c*, ó *a f*, radio prolongado, el brazo de palanca por el qual obra la potencia *c*, *f*. Luego si *a b* es á *a c* como 1 es á 10, un esfuerzo de 100 libras en *c* podrá tener en equilibrio una resistencia de 1000 libras en *d*.

533 Suele haber en las embarcaciones dos especies de cabrestantes; á saber, uno grande que se llama cabrestante mayor, y otro pequeño que es el cabrestante menor: el cabrestante mayor está colocado sobre el primer puente, y se eleva hasta quatro ó cinco pies por cima del segundo puente; y su uso es el producir los mayores esfuerzos, como elevar el ancla, &c. El cabrestante menor está colocado sobre el segundo ó tercer puente entre el palo mayor, y el palo de mesana; y sirve para izar los masteleros y las velas mayores.

534 Quando el cable al qual está amarrada la resistencia es demasiado grueso para poder ser arrollado sobre el árbol ó cilindro del cabrestante, tal como el que sirve para levantar las anclas de los navios grandes, se hace uso de una cuerda medianamente gruesa, llamada calabrote ó virador, á la qual se le dan dos ó tres vueltas al árbol del cabrestante, juntando en seguida sus dos cabos de mo-

Digitized by Google

do que no pueda arrollarse un lado sin que el otro no se desarrolle; á cuyo calabrote se ata, con unas cuerdas pequeñas llamadas garzetas, el cable grueso á quien está unida el ancla.

535 En el uso del cabrestante hay muchos inconvenientes que no se ha podido corregir aun, á pesar de quanto han trabajado sobre este punto los sabios que se han ocupado en ello. Si se hace uso del calabrote, se hallan bien pronto sin poder servir las garzetas que tienen el cable atado á él; por lo qual es preciso desatarlas para volverlas á atar mas léjos, lo que es causa de que se pierda é inutilice una parte de tiempo, que las mas veces es muy necesario. Pero el mayor inconveniente está en que la cuerda que se arrolla en el cilindro, desciende á cada vuelta una cantidad igual á su diámetro, por lo qual llega hasta el extremo inferior del cilindro: para evitar que no se cruce esta cuerda, y que no se embarace por decontado la maniobra, es preciso subirla hácia la parte superior del cilindro, que es á lo que se llama *enmendar*; y cuya operacion hay que repetir con tanta mas freqüencia, quanto mayor diámetro tiene la cuerda, y el cilindro ménos longitud: aun mas, cada vez que se hace esta operacion es preciso suspender el movimiento de la máquina: echar bozas al cable y calabrote, para impedir el que obre la resistencia: retroceder el cabrestante para afloxar la parte de cuerda que se halla sobre el cilindro: volver á levantar la cuerda: estirarla de nuevo; y en fin quitar las bozas para volver á poner en movimiento el cabrestante: todo lo qual pide mucho tiempo y trabajo.

Hay pocas máquinas sobre las quales se hayan exercitado tanto los mecánicos, como sobre los cabrestantes, principalmente con la intencion de hacer desaparecer el inconveniente de *enmendar*, que

Digitized by Google

es con efecto el mas grande de todos. Se halla algunas mejoras en la construccion del cabrestante, en las obras que ganáron el premio de la Academia de las Ciencias en el año de 1742; pero no que llegasen al término que se habian propuesto. Se presentó despues á la Academia un cabrestante, cuyo cilindro estaba guarnecido de ruedecillas, que girando hacian subir á un tiempo todas las vueltas de la cuerda: pero este medio, cuya idea es por otra parte muy ingeniosa, produce un gran rozamiento, el qual es siempre á costa de la fuerza motriz. En 1793, *Cardinet*, ingeniero mecánico, presentó al tribunal de Consultacion un cabrestante cuya construccion es mas simple, y que se aproxima al término que se propuso el autor, un poco mas que los precedentes.

Está compuesto este cabrestante de un cilindro principal, semejante al de los cabrestantes ordinarios, y despues, de un cilindro subsidiario que está colocado delante del primero, esto es, en el lado hácia donde está el peso que se tira. Este segundo cilindro es del mismo diámetro que el primero, del que está separado por unos tejuelos, cuyos exes, así como el del cilindro subsidiario, estan insistiendo en una muesca hecha en la armadura del cabrestante. La cuerda abraza los dos cilindros, quienes con este motivo, y en virtud de la presion que produce aquella, son conducidos el uno por el otro: está terminada la garganta de cada cilindro por dos rodetes, uno inferior y otro superior; el inferior está destinado á detener la cuerda quando se bira, y el superior á detenerla quando retrocede el cabrestante. La distancia entre estos rodetes, ó la longitud de la garganta, es mas pequeña en el cilindro subsidiario que en el cilindro principal, de una cantidad igual á dos veces el diámetro de la cuerda; y por conseqüencia el rodete inferior del cilindro princi-

pal se halla mas baxo, y el rodete superior mas alto que los del otro cilindro, cada uno una cantidad igual al diámetro de la cuerda. Esta construccion es precisamente la que hace que el cabrestante pueda birar sin *enmendar*; porque viniendo la cuerda del cuerpo que se trata de mover, rueda primero sobre la semi-circunferencia del cilindro principal, apoyándose sobre el rodete inferior de su garganta, desde adonde vá, con un corto grado de obliqüidad, á colocarse sobre el rodete inferior del cilindro subsidiario: volviendo en seguida sobre la semi-circunferencia de este cilindro, viene de nuevo horizontalmente la cuerda sobre el cilindro principal, desde adonde pasa por segunda vez obliqüamente sobre el otro cilindro; y así de seguida hasta que haya dado tantas vueltas como sea preciso, para que la resistencia de la masa que se ha de mover no pueda hacer deslizar la cuerda sobre los cilindros. Haciendo en seguida obrar el cabrestante, se ve que la cuerda halla siempre naturalmente su sitio sobre la garganta inferior del cilindro principal; y que siguiendo el camino que acabamos de indicar, todas las vueltas de la cuerda ocupan siempre sensiblemente los mismos sitios sobre las gargantas de los cilindros. Luego no hay necesidad de desalojarlas en todo el tiempo que dure la accion del cabrestante. Si este tiene que retroceder se detiene la cuerda en los rodetes superiores, para lo qual no se necesita de maniobra alguna particular; sino que basta el hacer girar al cabrestante en direccion contraria de la en que se movia primero.

La idea del cilindro subsidiario no es de *Cardinet*; pues que se halla en dos piezas entre las quales se dividió el premio de la Academia de Ciencias en 1742: la una es de *Juan Bernoulli* el hijo, y la otra de *Ludot*, abogado en el Parlamento. Es-

Digitized by Google

te último ha empleado tambien una pieza análoga á los tejos de *Cardinet*: pero el cabrestante de este es de una construccion mucho mas simple, y por esto preferible á los otros.

Del Cric ó Gato.

536 El cric es tambien una máquina mediante la qual se puede con una fuerza pequeña vencer una grande resistencia. El cric simple está compuesto de una barra de hierro *a b* (*fig.* 93) guarnecida de dientes en una de sus caras, y movible en una caxa *c e*: los dientes de la barra *a b* encaxan con los de un piñon *d*, que se hace girar sobre su exe, por medio del manublio *f d*. Los dientes del piñon levantan la barra, y hacen por conseqüencia subir el peso colocado sobre la cabeza *a*.

537 Considerando el esfuerzo que cada diente del piñon hace en *d* para levantar la barra, como si fuese un peso que se hubiese de elevar, es claro (512) que la *potencia*, aplicada al manublio, *es á este peso como el radio del piñon es al brazo* d f *del manublio*. De adonde se concluye que haciendo el radio del piñon muy pequeño, con relacion al del manublio, se puede con una fuerza mediana elevar un peso muy considerable.

538 Para levantar un peso mas grande con la misma fuerza aplicada al manublio, se añade algunas veces al cric una rosca sin fin (559), que se hace girar con el manublio fixo en su exe, y de la que los filetes encaxan con los dientes del piñon. Supongamos que en el cric simple tenga ocho dientes el piñon, á cada vuelta del manublio se elevará la barra ocho dientes: pero si se añade una rosca sin fin que tenga dos filetes, será necesario para que el piñon haga una revolucion, y para que la barra

Digitized by Google

suba ocho dientes, hacer dar quatro vueltas al manublio; por lo qual llegará á ser quadruplo el espacio corrido por la potencia; y por consequencia se quadruplicará su fuerza. Pero se ve que en virtud del grado de elevacion de la resistencia, se necesitará, en el segundo caso, quatro veces tanto tiempo como en el primero. Esta rosca sin fin produce otra ventaja, que es la de poder parar en donde se quiera sin temor de que descienda el peso.

Del Plano inclinado.

539 El Plano inclinado, una de las seis máquinas consideradas como simples, es aquel que forma un ángulo qualquiera con un plano horizontal; cuyo ángulo puede ser infinitamente pequeño, y entónces el plano se confunde con la línea horizontal; ó bien puede ser recto, y entónces el plano llega á ser vertical. Entre estos dos extremos estan comprehendidas todas las demas especies de inclinaciones.

540 Hemos probado arriba (234) que la duracion de la caida de un cuerpo por un plano inclinado, es á la duracion de la caida de este mismo cuerpo por la vertical de este plano, como la longitud del plano es á su altura: luego un cuerpo colocado sobre un plano inclinado, está en parte sostenido por este plano: luego una potencia que obra por medio de un plano inclinado, puede sostener y aun vencer una resistencia mas grande que ella. Y esta potencia no obra jamas con tanta ventaja como quando su direccion es paralela al plano.

541 Sea *a c* (*fig.* 94) un plano inclinado: para sostener el cuerpo *b* sobre este plano, é impedirle que caiga, no es necesario que los pesos *d*, *d*, que le sostienen por medio de las cuerdas *b e d*, sean, tomados juntos, iguales al peso del cuerpo *b*, si es-

Digitized by Google

tos pesos *d*, *d*, tiran en la direccion *b e* paralela al plano inclinado. Pero si estos pesos tirasen en las direcciones *b f*, ó *b g*, perderian parte de su ventaja: veremos ahora mismo la razon de esto.

542 Es evidente que el plano inclinado sostiene una parte del peso *b*, pues que unos pesos menores que el suyo le impiden caer. En efecto, el cuerpo *k* (*fig.* 95) se dirige á caer por la direccion vertical *k b* (202); lo que no le dexa hacer el plano inclinado *a c* á quien con precision tiene que seguir. Su punto de apoyo está en *d*: luego se puede mirar el radio *d k* como una palanca, á la extremidad *k* de la qual obran dos potencias; la una el peso del cuerpo *k*, en la direccion *k b*, obliqüa al radio *d k*; y la otra *k p*, perpendicular á este radio. La longitud del brazo de palanca de esta última potencia es pues el radio entero *d k*; y la longitud del brazo de palanca por quien obra el peso del cuerpo *k*, se reduce á *d e*, seno del ángulo que forma la direccion *k b* con el radio *k d* (483).

543 Pero como las potencias deben estar en razon inversa de las longitudes de los brazos de palanca (481), la potencia *k p* debe ser al peso del cuerpo *k*, como *d e* es á *d k*. Pero *d e* es á *d k*, como *a b*, altura del plano, es á *a c* su longitud; porque el triángulo *d e k* es semejante al triángulo *a b c*, como es fácil de probar [1]; luego hay la misma relacion entre *d e*, *d k*, y *e k*, que entre *a b* altura del plano inclinado, *a c* su longitud, y *b c* su base; luego *d e* representa *a b*, altura del plano, y *d k* representa *a c* su longitud. De adonde se sigue que *en el caso en que la direccion de la potencia es paralela á la longitud del plano inclinado*,

[1] Por ser perpendiculares los tres lados del uno á los tres del otro, cada uno al suyo.

Digitized by Google

la potencia debe ser al peso, como la altura del plano es á su longitud.

544 Pero si la direccion de la potencia es obliqüa á la longitud del plano, estará esta potencia en otra razon. Por exemplo, *si esta direccion es* k m, *paralela á la base del plano, la potencia debe ser entónces al peso, como la altura del plano es á su base*; como *d e* es á *e k*, ó á *d o*, paralela é igual á *e k*, la qual línea *d o* es el seno del ángulo que forma la direccion *k m* de la potencia con el radio *d k*. Para los demas grados de obliqüidad, será siempre el seno del ángulo que formará la direccion de la potencia con el radio *d k*, el que determinará la relacion.

545 En fin, para determinar esta relacion de un modo mas general, se puede decir que en todos casos *deben estar entre sí el peso y la potencia, como los senos de los ángulos que forman con el radio* d k, *la direccion de la potencia y la línea vertical* (483), cuya línea es la direccion del peso.

546 Pues que el plano inclinado sostiene una parte del peso (542), no es pues la pesantéz absoluta de este peso la que debe sostener la potencia, sino solamente su pesantéz respectiva, esto es, la porcion de su peso que no está sostenida por el plano inclinado. Véase arriba (236 *y siguientes*) qual es la relacion que hay entre esta pesantéz respectiva y la inclinacion del plano.

De la Cuña.

547 La cuña, una de las seis máquinas simples, es un prisma triangular *d a c* (*fig.* 96), ó lo que es lo mismo, un cuerpo compuesto de tres planos *d c e f*, *d f g a*, *c e g a*, que terminan dos triángulos *d a c*, *f g e*. Los dos planos *d f g a*, y *c e g a*,

Digitized by Google

que son los mas largos, y que se llaman *lados de la cuña*, forman un ángulo en la línea *a g*, que se llama *la punta ó corte de la cuña*; el plano *d c e f*, que es el mas pequeño de los tres, y el que determina la distancia entre los otros dos hácia la parte superior, se llama *base ó cabeza de la cuña*; y la línea *b a* es á lo que se llama *altura ó exe de la cuña.*

548 La accion de la cuña puede referirse á la del plano inclinado (539); y en efecto es evidente que el plano *a c e g* está inclinado al plano *a d f g.*

549 Se hace uso de la cuña para abrir, levantar, ó comprimir los cuerpos; empleando comunmente para hacerla obrar, el choque de un cuerpo duro y algunas veces la presion de un peso. La resistencia que se quiere vencer por medio de la cuña, procede freqüentemente de la tenacidad de las partes; adherencia que es dificil de valuar. La percusion que hace obrar á la cuña, es tambien una fuerza dificil de comparar con la de una presion; siendo esta la causa de que no sea susceptible de una exáctitud grande la aplicacion de la teoría de la cuña á la práctica. Para acercarnos mas á esta exáctitud, supongamos unas potencias cuya fuerza absoluta se conozca, como unos pesos; y veamos quales son las relaciones que toman entre sí la potencia y la resistencia, por la interposicion de la cuña.

550 Supongamos pues los dos rodillos *m*, *n*, (*fig.* 97) atados el uno *m* á la cuerda *m l e*, y el otro *n* á la cuerda *n i d*, sosteniendo cada una un peso de 20 libras *p* y *r*, y pasando por cima de las poleas *f* y *b*: supongamos tambien que la base *a b* de la cuña sea igual á la mitad de su altura *c b*. Se necesitará una presion de 10 libras para tener esta cuña en equilibrio con la suma de los dos pesos, que es igual á 40 libras, y un poco mas de 10 libras para hacer entrar la cuña en toda su altura *c b*, pres-

Digitized by Google

cindiendo de los rozamientos. Es evidente, por la construccion, que en tanto que la cuña se introducirá segun toda su altura *c b*, subirán los dos pesos *p* y *r* cada uno una cantidad igual á la mitad de *i l*, la qual es igual á *a b*, base de la cuña. Y como es preciso, para que haya equilibrio, que la potencia esté con la resistencia en razon inversa de las velocidades (481), ó de los espacios corridos en un mismo tiempo, es claro que, *en caso de equilibrio, la potencia debe ser á la resistencia como la mitad de la base de la cuña es á su altura.* Luego quanto mas aguda sea la cuña, mas poderosa será su accion; y mas efecto producirá, por su medio, una misma fuerza.

551 Si se dirige la cuña á separar las partes de un cuerpo duro, que tienen mucha adherencia entre sí, como sucede las mas veces, va aumentando siempre su ventaja á proporcion que se introduce entre estas partes. Porque supongamos que se hayan unido y atado fuertemente dos varas de madera *a b* y *c d* (*fig.* 98) con unas cuerdas *e*, *f*, *g*, &c. iguales todas en fuerza, y que representan la adherencia de las partes de un leño, por exemplo; colocada la cuña entre las dos varas obra en algun modo por los brazos *a e*, *c e*, de dos palancas angulares *a e b*, *c e d*, en tanto que los otros dos brazos *e b*, *e d*, detenidos por las cuerdas, se apoyan mútuamente el uno sobre el otro. Si la fuerza de la cuña excede un poco á la de la primer cuerda *e*, esta cuerda se romperá; y la segunda cuerda *f*, aunque tan fuerte como la primera, se romperá mas fácilmente por la accion de la misma cuña, á causa de que entónces los brazos de las palancas por los quales obra, se han prolongado la cantidad *e f*; y así de los demas. Esta es sin duda la causa de que las maderas duras y secas, las piedras, el vidrio, y en general

Digitized by Google

todas las materias cuyas partes son muy duras, se rompan y dividan en astillas ó pedazos grandes, y se abran muy fácilmente luego que se ha comenzado á abrirlas.

552 A la cuña se refieren todos los instrumentos cortantes y de puntas, como cuchillos, hachas, espadas, punzones, &c. Con efecto, todos estos instrumentos tienen á lo ménos dos planos inclinados el uno al otro, algunas veces quatro ó aun mas, que forman entre sí un ángulo mas ó ménos agudo: así, los clavos, las agujas, los alfileres, &c. hacen el oficio de cuñas, y deben ser considerados como tales.

De la Rosca ó Tornillo.

553 La rosca, una de las seis máquinas consideradas como simples, es un cono muy prolongado, ó un cilindro *a b* (*fig.* 99), sobre la circunferencia del qual se ha abierto una garganta en espiral *c f g*. Se puede representar su generacion por el movimiento uniforme de una línea recta *a b* (*fig.* 100), que traza la superficie de un cilindro *e b*, en el mismo tiempo que un punto *a* desciende con una velocidad uniforme de *a á c*, y de *c á b*; pues es claro que al fin de tres revoluciones y un quarto, habrá corrido este punto la línea espiral *a g d h e i f n*. La eminencia *c f* (*fig.* 99) que queda entre las vueltas de la garganta de la rosca, se llama el *filete de la rosca*; y la distancia *c g* que hay de un filete al otro, se llama el *paso de la rosca*.

554 En los mismos términos se hace el filete y la garganta en una cavidad cilíndrica, abierta en un pedazo de metal ó de madera *c d* (*fig.* 101), para hacer de ella una rosca interior, á la que se le da comunmente el nombre de *tuerca*; y algunas veces

se le llama tambien *rosca hembra*, y á la rosca *a b*, *rosca macho*.

555 Es fácil de ver, que el filete de una rosca es un plano inclinado á la base del cilindro *a b* (*fig.* 99); y que este plano está tanto mas inclinado, quanto los pasos *c g* de la rosca son menores. La altura de este plano es el paso de la rosca, ó lo que es lo mismo, la distancia de un filete al otro: su base es la circunferencia de la rosca; y su longitud la da esta circunferencia, y la altura del paso; porque si se desenvuelve uno de estos filetes *d i*, formará con su paso *i e*, y su base, ó la circunferencia *d e* de la rosca, un triángulo *d i e*, rectángulo en *e*, del qual es fácil conocer el lado *d i*, pues que se conoce los otros dos lados *d e*, é *i e*, así como el ángulo en *e*. Luego quando una rosca gira en su tuerca, no es otra cosa mas que dos planos inclinados, de los quales el uno se desliza sobre el otro.

556 Segun las materias de que se hacen las roscas y tuercas en donde deben entrar, y segun los esfuerzos que tienen que sostener, son las diferentes formas que se da á sus filetes. En las roscas de madera se hace estos filetes *c*, *g*, *f*, angulares, á fin de conservarles su fuerza; pues que en virtud de esta figura, presentan una base mas ancha sobre el cilindro en donde se hallan. Tambien toman la misma forma los filetes de las tuercas en madera, quando se las abre con roscas pequeñas de hierro, que son unos conos muy prolongados, y que finalizan quasi en punta; á los quales se les debe considerar, del mismo modo que á los hierros de las barrenas y de los taladros, como á unas cuñas que dan vueltas, de las que el ángulo abre la madera tanto mas fácilmente, quanto es mas agudo. Pero en las roscas gruesas de metal (*fig.* 102), que sirven en las prensas y en los tornillos, se hace unos filetes qua-

Digitized by Google

drados *a a*, á fin de que sufran mas rozamiento con el aumento de la superficie de cada filete; por proceder freqüentemente de los rozamientos el principal efecto de las roscas; cuyos rozamientos impiden se abran las orejas del tornillo, aunque se dirijan á ello por la reaccion de la pieza que aprietan mútuamente.

557 Se hace uso principalmente de las roscas para apretar fuertemente unos cuerpos contra otros, y algunas veces tambien para elevar pesos ó fardos, ó para hacer avanzar ó retroceder á ciertas piezas, una cantidad determinada; para lo qual se hace uso de la rosca y de la tuerca, de las que la una ó la otra sirve de punto de apoyo. Algunas veces es móvil la rosca, é inmóvil la tuerca; otras veces es la rosca la que está inmóvil, y la tuerca móvil; pero en uno y otro caso es uno mismo el efecto de la rosca.

558 Quando se quiere hacer uso de esta máquina, se aplica una de las dos piezas (la rosca ó la tuerca) á la resistencia que hay que vencer, y la otra le sirve como de punto de apoyo; y entónces, girando, se hace mover la tuerca sobre la rosca, ó la rosca en la tuerca, en la direccion de su longitud; con lo qual se consigue que lo que resiste á este movimiento avance ó retroceda otro tanto. En los tornillos de los cerrageros, por exemplo, es impelida una de las dos orejas, por la accion de una rosca, contra la otra, á la qual está unida una tuerca. Es preciso, como se está viendo, que dé una vuelta entera la potencia, para hacer avanzar á la resistencia un paso de rosca, esto es, una cantidad igual á la distancia de un filete al otro. Si la potencia se aplica inmediatamente á la rosca, el espacio que corre, ó su grado de velocidad es *d e* (*fig.* 99), que es la medida de la circunferencia de la rosca

Digitized by Google

(555); y el grado de velocidad de la resistencia es *e i*, medida del paso de la rosca. Pero como por lo regular se hace girar las roscas, y sobre todo las que son gruesas, con palancas ú otra cosa equivalente, anda mucho mas espacio la fuerza motriz, que el que andaria si estuviese inmediatamente aplicada á la rosca; y ya no es la línea *d e* la que expresa su velocidad, sino la circunferencia del círculo cuyo radio es la palanca *b n*. Y como es preciso, para que haya equilibrio, que las potencias esten entre sí en razon inversa de sus velocidades, se puede establecer en general, que en el uso de las roscas, si se prescinde de los rozamientos, *la potencia es á la resistencia, en caso de equilibrio, como la altura del paso de la rosca, es á la circunferencia que describe la potencia.* De adonde se sigue, que la misma resistencia quedará vencida por una potencia tanto mas pequeña, quanto mas pequeño sea el paso de la rosca, ó quanto mas larga sea la palanca con que obre esta potencia; en cuyo último caso andará esta potencia mas espacio, y perderá por decontado en tiempo lo que gane en fuerza, como no dexa de suceder jamas.

De la Rosca sin fin.

559 La rosca sin fin difiere mucho de las roscas de que acabamos de hablar (553 y *siguientes*). Estas últimas se mueven en una tuerca, y cesan de girar quando han avanzado un espacio igual á su longitud. En lugar de que la rosca sin fin es un cilindro que gira siempre en una misma direccion, en virtud de estar sostenidos sus dos extremos *a* y *b* (*fig.* 103) sobre dos apoyos sólidos; de modo que su accion es continua, y esta es la causa de haberle dado este nombre. Los filetes *c*, *e*, de esta ros-

Digitized by Google

cá, que por lo comun son quadrados, encaxan con los dientes de una rueda vertical *d e*, la qual tiene en su exe un rodillo *i*, con una cuerda de la qual se suspende el fardo *f* que se quiere levantar. Aplicada al manublio *g h*, una fuerza muy pequeña, puede levantar un fardo *f* muy considerable; pero se necesita mucho tiempo, como lo vamos á ver.

560 Busquemos pues la relacion del peso *f* á la potencia *m*. Es evidente que el peso *f* está contrabalanceado inmediatamente por la resistencia que el filete *e* de la rosca opone al diente de la rueda, en la direccion *e n*, perpendicular al radio *d e*. Luego este filete *e* obra por el radio *d e* de la rueda, en tanto que el peso *f* obra por el radio *d o* del rodillo: así, para que haya equilibrio, es preciso que la fuerza en *e* sea al peso *f* como *d o* radio del rodillo, es á *d e*, radio de la rueda (478 y *siguientes*).

561 Pero del mismo modo que el filete de la rosca impele al diente de la rueda segun la direccion *e n*, del mismo modo tambien es impelido este filete segun la direccion contraria *e r*, y con la misma fuerza; por la reaccion del diente de la rueda, que el peso *f* se dirige á hacer girar en esta direccion. Si esta última fuerza venciera, haria dar una vuelta al radio *g h* del manublio, en tanto que la rueda retrocedia un diente. Luego es preciso para que haya equilibrio, que la potencia *m* sea á la reaccion del diente de la rueda, como el paso *c e* de la rosca es á la circunferencia que describe el radio *g h*, por el qual obra la potencia *m*.

562 Luego se puede expresar en estos términos la relacion que el peso *f* debe tener en caso de equilibrio con la potencia *m*. *El peso es á la potencia, como el radio de la rueda, multiplicado por la circunferencia que describe el radio del manublio, es al*

Digitized by Google

producto del radio del rodillo multiplicado por la altura del paso de la rosca.

563 Se podria tambien expresar de otro modo esta relacion. Acabamos de decir (561) que la potencia *m* hace dar una vuelta al manublio *g h*, para hacer avanzar un diente á la rueda. Luego para hacer dar una vuelta entera á esta rueda, y por consequëncia para elevar el peso *f* una cantidad igual á la circunferencia del rodillo, se necesita hacer dar al manublio tantas vueltas, como dientes tiene la rueda. Y como las potencias deben estar en razon recíproca de las velocidades ó de los espacios corridos, se puede decir: *el peso es á la potencia, como la suma de las circunferencias descriptas por la extremidad del radio del manublio, es á la circunferencia del rodillo.*

564 Se sigue de aquí, que siendo excesivamente lento el movimiento de la rueda, en comparacion del del manublio, no se necesita mas que una potencia muy pequeña para levantar un peso considerable, por medio de la rosca sin fin. Por exemplo, supongamos, como en la *fig.* 103, una rueda *d e* que tenga 19 dientes, y una rosca que no tenga mas que un filete, y que á cada vuelta no haga pasar mas que un diente de la rueda; que la circunferencia del rodillo *i* sea de 9 pulgadas; y que la que describe el radio *b g* del manublio, sea de 45. Quando la rueda *d e* haya dado una vuelta entera, el peso *f* habrá subido 9 pulgadas; y el espacio corrido por la potencia *m* será de 19 veces 45 pulgadas, ó de 855 pulgadas, ó de 71 ¼ varas. Luego la velocidad de la potencia *m* será á la velocidad de la potencia *f*, como 95 es á 1. Por consequëncia esta potencia con un esfuerzo de una libra sostendrá 95; y si su esfuerzo iguala á 30 libras, sostendrá 2850.

Digitized by Google

565 Si la rueda *d e* tuviese una vez mas dientes que los que tiene, ó el radio *b g* del manublio fuese una vez mas largo, la misma potencia *m* produciria un efecto duplo; esto es, que sostendria 5700 libras.

566 Pero, si sin variar el número de los dientes de la rueda *d e*, ó la longitud del radio *b g* del manublio, se coloca sobre el exe de la rueda, en lugar del rodillo *i*, otra rosca sin fin, cuyo filete encaxe en los dientes de una segunda rueda del mismo número que la primera, y que tenga un rodillo *i*, que sostenga el peso *f*, la misma potencia *m* será capaz de sostener un peso 19 veces tan grande; esto es, que no valiendo intrínsecamente esta potencia mas que 30 libras, podrá sostener 54150.

De la Rosca de Arquímedes.

567 Esta máquina inventada por *Arquímedes*, es muy á propósito para la elevacion de las aguas. Es un cilindro *a b* (*fig.* 104) que gira sobre dos apoyos, y al rededor del qual se ha colocado espiralmente un canal hueco *a c d e f g b*; cuyo cilindro se inclina al horizonte baxo un ángulo de cerca de 45 grados, haciendo entrar en el agua el orificio *a* del canal. Este canal, que en la figura está abierto en toda su longitud, debe estar cerrado por todas sus partes, excepto en sus dos extremidades. Si por medio de un manublio *m*, ó de otro modo, se hace girar la rosca, se introduce el agua en el canal espiral, y pasando de espira en espira, vá á descargar por la otra extremidad *b* del canal hueco.

568 Esta máquina es muy simple, y su invencion muy útil é ingeniosa: sube el agua en ella, no descendiendo, como algunos han dicho, sino en virtud

Digitized by Google

de la misma fuerza que se dirige á hacerla descender, en una palabra, en virtud de su pesantéz. En efecto, la partícula de agua que está en la parte inferior de la rosca en *e*, por exemplo, no puede permanecer en el punto *e*, quando, girando la rosca, este punto *e* pasa á *i*, sitio mas elevado que lo que estaba el punto *e* ántes que girase la rosca; por la razon de que la pesantéz de esta partícula la obliga á pasar al punto que ha sucedido al punto *e* en la parte inferior de la rosca, el qual punto está mas baxo que lo que lo está actualmente el punto *i*, pero al mismo tiempo mas elevado que lo que lo estaba el primer punto *e* ántes que pasase á *i*; de modo que esta partícula de agua, dirigiéndose siempre á mantenerse en el lugar mas baxo, se halla á cada instante en unos puntos cada vez mas elevados, á los quales es conducida realmente por su pesantéz: lo que decimos de esta partícula de agua, se puede decir de todas las demas. Para que una sustancia pueda subir en la rosca de *Arquímedes*, es preciso que sea fluida y pesada.

569 Esta rosca es muy á propósito para elevar una grande cantidad de agua con una fuerza muy pequeña; por cuya circunstancia puede ser muy útil para desaguar algunos lagos, estanques, &c. pero no sirve para elevar el agua á una grande altura, porque debiendo estar necesariamente inclinada, no puede levantar el agua muy alto sin que se aumente mucho su longitud, con lo qual se hace muy pesada, y corre riesgo de torcerse, y de perder su equilibrio; cosa que exigiria entónces una gran fuerza para ponerla en movimiento.

Digitized by Google

De las resistencias que sufren las máquinas quando estan próximas á moverse.

570 Si las materias de que estan compuestas las máquinas fuesen perfectamente duras, y estuviesen perfectamente pulimentadas, y si las cuerdas que hay precision de emplear freqüentemente, para transmitir la accion de la fuerza motriz de una parte de la máquina á otra, tuviesen una perfecta flexibilidad, la teoría del equilibrio que acabamos de establecer, bastaria para determinar en cada caso la fuerza necesaria para contrabalancear una resistencia dada; y una vez hallada esta fuerza, se tendria seguridad de que añadiéndole una cantidad, por pequeña que fuese, faltaria el equilibrio, y la resistencia quedaria vencida. Pero en el estado físico y natural de las máquinas, falta mucho para que las cosas sean así. Puede acontecer que se aumente, aun en una cantidad bastante grande, esta potencia determinada por la teórica, sin que por esto resulte movimiento alguno en la máquina. El rozamiento de las superficies unas contra otras, y la resistencia que oponen las cuerdas quando se trata de hacerlas arrollar al rededor de las poleas ó cilindros que ellas abrazan, se oponen al movimiento de la máquina. Es muy dificil de apreciar el valor de estas resistencias; por cuyo motivo no se debe esperar se proponga una teoría rigorosa sobre esta materia, que se halla mezclada de un número tan considerable de accidentes y de dificultades físicas, que tal vez no se llegará jamas á aclarar completamente.

571 Hemos hablado ya bastante largamente (96 *y siguientes*) de la resistencia que resulta de los rozamientos; á cuya parte remitimos al lector. Al

Digitized by Google

presente trataremos de la resistencias que proviene de la rigidez de las cuerdas.

De la rigidez de las cuerdas.

572 Las cuerdas son unos cuerpos largos y mas ó ménos flexibles, compuestas de muchos hilos, de materia ya sea vegetal, animal ó mineral, aplicados los unos contra los otros, y reunidos por medio de la torcedura. Se hacen cuerdas de materia vegetal, tales como el cáñamo y la corteza de árbol: las de cáñamo son las mas comunes, las mas puestas en uso, y preferibles á las de corteza de árbol por ser mas fuertes. Se hacen de materias animales, tales como la seda, la tripa y los nervios. Se hacen tambien algunas veces de materias minerales, tales como el arambre ó hilo de hierro y el de laton.

573 La dificultad y resistencia que presenta la rigidez de las cuerdas, quando se trata de hacerlas arrollar sobre las poleas ó los cilindros, es muy considerable y muy dificil de valuar, como lo hemos dicho arriba (570). Los principios que vamos á establecer no son rigorosamente verdaderos; pero por lo ménos son bastante conformes con lo que nos enseña la experiencia sobre este punto. *Amontons* fué el primero que trató metódicamente esta materia. (Véase *las Memorias de la Académia de las Ciencias* para el año de 1699, pág. 217). Refiere este sabio los experimentos que hizo para asegurarse de las proporciones en que aumentan estas resistencias; de cuyos experimentos se sigue que la rigidez de las cuerdas depende principalmente de tres cosas; 1.ª de la fuerza que las tiene tirantes; 2.ª de su grueso ó diámetro; 3.ª de la cantidad que se les hace arrollar, ó lo que es lo mismo, del diámetro

Digitized by Google

de las poleas ó cilindros sobre las quales se las arrolla.

574 Supongamos dos cuerdas *a c*, *b d* (*fig.* 105), atadas cada una á un punto fixo *a* y *b*; y que se les hace dar vuelta á cada una sobre el cilindro *e f*. Si no tuvieran rigidez ninguna, y fuesen perfectamente flexíbles, bastaria el peso solo del cilindro para hacerle caer; pero en lugar de esto, es preciso para que descienda, añadirle un peso tanto mas considerable, quanto mas grande sea la fuerza que tiene tirante á las cuerdas. Para asegurarse de esto, átese al cilindro *e f* un platillo de balanza *g* con un cordon arrollado en direccion contraria á aquella en que lo estan las cuerdas *a c*, *b d*, y estírese estas cuerdas con unos pesos colocados sobre el plano *c d*. Se verá, 1.° que para hacer descender el cilindro, y por conseqüencia para vencer la rigidez de las cuerdas, se necesitará añadir en el platillo *g*, un peso tanto mas considerable, quanto mas grande sea el peso colocado sobre el plano *c d*, que es el que tiene tirantes las cuerdas. Si el peso que atiranta las cuerdas es 1.° de 100 libras; 2.° de 200 libras, se necesitará en el platillo *g*, en el segundo caso un peso duplo del que se habrá necesitado en el primero. De adonde se sigue que la *resistencia de la rigidez de las cuerdas, que resulta de las fuerzas que atirantan estas cuerdas, crece en razon directa de estas fuerzas.*

575 Se verá, 2.° que con un mismo cilindro y un mismo grado de tension en las cuerdas, se necesitará añadir, en el platillo *g*, un peso tanto mas considerable, quanto mayor sea el diámetro de las cuerdas. Si este diámetro es, 1.° de 12 líneas, 2.° de 24 líneas, se necesitará, en el platillo *g*, en el segundo caso, un peso duplo del que se habrá necesitado en el primero. De adonde se sigue que la

Digitized by Google

resistencia de la rigidez de las cuerdas, que resulta de su grueso, crece solamente como el diámetro de las cuerdas, y no como su solidez.

576 Se verá, 3.° que haciendo siempre el experimento sobre unas mismas cuerdas, cuya tension sea efecto de las mismas fuerzas, y conservando siempre el mismo diámetro al cilindro sobre el qual se arrolla el cordon de que pende el platillo *g*, se necesitará añadir, en este platillo, un peso tanto mas considerable, quanto menor sea el diámetro del cilindro, sobre el qual se arrollan las cuerdas; pero no siempre segun la proporcion de la disminucion de este diámetro. Porque la *resistencia de la rigidez de las cuerdas* (que aumenta ciertamente á proporcion que los cilindros van siendo mas pequeños), *no aumenta sin embargo todas las veces tanto como decrecen los diámetros de los cilindros sobre los quales se arrollan.*

577 Para dar razon de estos hechos supongamos la cuerda *a b c d e* (*fig.* 106), atada al punto fixo *a*, y arrollada sobre el cilindro *c*. Se puede considerar el diámetro *d c* del cilindro y el diámetro *c b* de la cuerda, como formando juntos una palanca de brazos desiguales, cuyo punto de apoyo está en *c*, punto en donde la cuerda toca al cilindro. Luego el peso del platillo *f* obra por el brazo de palanca *d c*, en tanto que el peso atado á la extremidad *e* de la cuerda, y que la tiene tirante, obra por el brazo de palanca *c b*, ó por el diámetro de la cuerda. Es fácil de ver ahora que un peso duplo, obrando por este brazo de palanca, debe producir un efecto duplo. De aquí es de adonde se deduce el primer principio (574).

578 Suponiendo siempre la misma figura, se ve porque á proporcion que aumenta *c b*, ó lo que es lo mismo, el diámetro de la cuerda, aumenta la

Digitized by Google

fuerza del peso *e* en la misma proporcion; á causa de que obra entónces este peso por un brazo de palanca mas largo; lo qual le da mas fuerza para aumentar la rigidez de la cuerda. De aquí sale el segundo principio (575). Se ve que no es la solidez de la cuerda, sino su diámetro, el que influye sobre este efecto; lo qual procede de que esta resistencia, causada por el diámetro de la cuerda, no proviene sino de que este diámetro aleja ó acerca al punto de apoyo *c* la accion del peso *e*, y no de que la cuerda contenga mas ó ménos materia; porque si esto fuese así, aumentaria ó disminuiria esta resistencia en la razon de los quadrados de los diámetros de las cuerdas.

579 Para explicar el tercer principio (576), á saber, porque la resistencia de la rigidez de las cuerdas aumenta á proporcion que los cilindros, sobre los quales se arrollan, van siendo mas pequeños; supongamos tendida una cuerda *a' b' c' d'* (*fig.* 107): si se la quiere arrollar sobre el cilindro *m*, será preciso hacer que se separen sus partes en la mitad de su grueso *a' b' e' f'*, para que tome la situacion *a g d*, *e h f*, y que se compriman al contrario sus partes en la otra mitad de su grueso *e h f*, *c i b*: ahora, esta separacion de las partes por un lado de la cuerda, y esta aproximacion por el otro, hacen una resistencia real á la potencia que se dirige á arrollar la cuerda: y esta resistencia es tanto mas grande, 1.° quanto la fuerza que atiranta la cuerda es mas considerable, por ser entónces mayor su tenacidad ó dureza; 2.° quanto mayor grueso tiene la cuerda, pues que entónces hay mas partes que separar por un lado de ella, y que comprimir por el otro; 3.° quanto menor es el diámetro del cilindro sobre el qual se arrolla la cuerda, subsistiendo esta siempre una misma; por ser preciso entónces separar mas

Digitized by Google

por un lado, y comprimir por el otro la misma cantidad de partes: luego se necesita ménos fuerza para hacer arrollar la misma cuerda sobre el cilindro *m* que sobre el cilindro *n*. Pero la experiencia prueba que no aumenta siempre tanto esta resistencia como decrecen los diámetros de los cilindros.

580 De todo esto se sigue que en general *la resistencia que procede de la rigidez de las cuerdas, está en razon compuesta de la razon directa de las fuerzas que atirantan las cuerdas, de la razon directa de los diámetros de las cuerdas, y sobre corta diferencia de la razon inversa de los diámetros de los cilindros.*

581 Se sigue de aquí que estando valuada en peso la resistencia que procede de la rigidez de las cuerdas en una máquina; este peso, igual al que es necesario para contrabalancear esta resistencia, viene á ser como un nuevo fardo que es preciso añadir al que la máquina debe levantar; y como este aumento de peso aumentará aun la rigidez de las cuerdas, será preciso calcular de nuevo este aumento de resistencia, y añadir el peso necesario para contrabalancearla, y así de seguida hasta que esta resistencia, que proviene del aumento que se hace á cada vez á la potencia, sea tan pequeña que no se deba ya hacer aprecio de ella; lo qual producirá muchas cantidades decrecientes, que sumándolas podrán ser muy considerables.

582 Se sigue de todo lo que acabamos de decir sobre la resistencia que proviene de la rigidez de las cuerdas, que se debe preferir, tanto como sea posible, las poleas grandes á las pequeñas, no solamente porque teniendo ménos vueltas que dar, sufre su exe ménos rozamiento, sino tambien porque las cuerdas que encaxan ó engargantan en ellas sufren una curbatura menor (579), y por decontado causan una

Digitized by Google

resistencia menor. Es de tan grande conseqüencia en la práctica esta consideracion, que valuando la rigidez de las cuerdas, segun la regla de *Amontons* (*Memorias de la Academia de las Ciencias*, año 1699, pag. 225), se ve claramente que si se quiere elevar un fardo de 800 libras con una cuerda de 20 líneas de diámetro, y una polea que no tenga mas que 3 pulgadas, se necesitará aumentar la potencia la cantidad de 212 libras, solamente para vencer la rigidez de la cuerda, sin contar á mas la de 224 libras para vencer el rozamiento del exe de la polea; en lugar de que con una polea de 2 pies de diámetro, bastarán 22 libras para vencer la rigidez de la cuerda, y 23 libras para vencer el rozamiento.

583 Como las cuerdas que se emplea en las máquinas grandes y sobre las embarcaciones, son de un precio considerable, y como deben sostener esfuerzos muy grandes, se debe hacer quanto se pueda por hacerlas durables, y por darles la mayor fuerza que sea posible. Si las fibras que componen las cuerdas fueran bastante largas por sí mismas, sin duda alguna que no se hubiera hecho mas que juntarlas y atarlas en forma de manojos, baxo una cubierta comun; cuya manera de componer las cuerdas hubiera parecido tal vez la mas sencilla y mas propia para conservarles la flexîbilidad que les seria tan necesaria: pero como estas fibras no tienen mas que una longitud muy limitada, se ha hallado medio de prolongarlas hilándolas, esto es, torciéndolas juntas; siendo tan considerable el rozamiento que nace de esta especie de union, que primero se rompen que deslizarse la una sobre la otra. De este modo es como se forman los primeros hilos cuyo conjunto forma un cordon; y de muchos de estos cordones reunidos y torcidos juntos, se compone las cuerdas mas gruesas. Se comprehende fácilmente que

Digitized by Google

la cantidad de materia contribuye mucho á la fuerza de las cuerdas: se concibe asimismo bien que un número mayor de cordones igualmente gruesos, debe formar una cuerda mas difícil de romper. Pero ¿quál es el modo mas ventajoso de unir los hilos ó los cordones? ¿Es mas útil torcer mucho las cuerdas, ó torcerlas poco? ¿Aumenta su torcedura la fuerza ó la disminuye? *De Reaumur* (*Memorias de la Academia de las Ciencias*, año de 1711, pag. 6) hizo un gran número de experimentos, á fin de resolver esta qüestion. Despues de haber experimentado qual era la fuerza de muchos pedacillos de hilo, hizo muchas cuerdas pequeñas, compuestas unas con respecto á otras, de diverso número de estos hilillos, torcidos juntos; y jamas pudiéron sostener estas cuerdas la suma de los pesos que sostenian separadamente los hilillos de que estaban compuestas. De adonde se concluye con razon, que la torcedura disminuye la fuerza de las cuerdas.

584 La causa de esto es fácil de comprehender. Quando se tuercen juntos muchos cordones para formar una cuerda, quedan los unos inevitablemente mas fuertemente estirados que los otros; de modo que quando la cuerda se aplica á algun esfuerzo, se divide desigualmente este esfuerzo en ellos; en términos que aquel de entre todos que está mas tirante, es el que se rompe primero; y si todos son necesarios para vencer el esfuerzo, queda la cuerda por este motivo muy débil. Este razonamiento es conforme á lo que sucede freqüentemente; pues que jamas se rompe toda entera y de una vez una cuerda gruesa; sino que se siente romper sus cordones los unos despues de los otros. En efecto, supongamos que el cordon *a b* (*fig.* 108) puede sostener 20 libras y nada mas: si con dos cordones perfectamente semejantes, se forma, torciéndolos, una cuerda

Digitized by Google

g, no sostendrá, sin romperse, los dos pesos *e*, *f*, cada uno de 20 libras. Lo mismo sucederia, si en lugar de reunir los dos cordones se los atase separadamente á dos puntos fixos *c*, *d*, y se suspendiese de ellos en seguida un peso de 40 libras *b*; pero de modo que uno de los cordones *c* estuviese atado hácia uno de los extremos del peso, y el otro *d* hácia la mitad ó el tercio de su longitud: como este último se halla cargado por esta disposicion con mas de 20 libras, se romperá infaliblemente; despues de lo qual, como el otro se halla solo cargado con las 40 libras, se rompe del mismo modo. Se puede añadir que al torcer los cordones para formar de ellos una cuerda, se les estira necesariamente un poco; cuya tension se puede considerar como una parte del esfuerzo que ellos pueden sostener. Ahora se comprehenderá bien porque la torcedura debilita las cuerdas; y tambien que se las debilita tanto mas quanto mas se las tuerce. En efecto, creo que si no se torciese tanto las cuerdas, serian ménos rígidas, y no se romperian tan fácilmente; con lo qual adquiririan dos qualidades muy útiles, esto es, la de ser mas durables; y la de ceñirse mas fácilmente sobre las poleas y los cilindros.

585 Como las cuerdas á quienes penetra la humedad se hinchan, y se acortan necesariamente poco ó mucho, qualesquiera que sean las fuerzas que se oponga á ellas, se las podria emplear útilmente para levantar una corta cantidad, un cuerpo muy pesado baxo del qual se quisiese introducir otro qualquiera cuerpo. Para esto, es preciso atar este cuerpo pesado por medio de una cuerda bastante fuerte y de una cierta longitud, á un punto bien fixo y capaz de resistir al peso de este cuerpo: se estirará la cuerda lo mas que se pueda; y en seguida se la mojará bien; y la humedad penetrándola, la hin-

Digitized by Google

chará y la acortará hasta el punto de levantar el cuerpo, qualquiera que sea su peso.

586 Las partículas húmedas penetran los cuerpos con una fuerza muy grande, cuya causa no se conoce bien aun: se concibe sí que estas partículas, introduciéndose entre las fibras de la cuerda, como otras tantas cuñas pequeñas, las separan y las hacen abultar; lo qual hincha y acorta necesariamente el conjunto de estas fibras.

FIN DEL TOMO PRIMERO.

Digitized by Google

CORRECCIONES.

Página.	Línea.	Dice.	Debe decir.
7....	28.....	de la.....	*el de la.*
34....	21.....	Oxîdo antimonio....	*Oxîdo de antimonio.*
39....	10.....	formiano.....	*formicino.*
39....	13.....	Acido forfórico.....	*Acido fosfórico.*
40....	18.....	Acido sibaceo.....	*Acido sebaceo.*
40....	27.....	Acido viotriólico.....	*Acido vitriólico.*
46....	36.....	Fomiates.....	*Formiates.*
53....	24.....	viîreo.....	*vîtreo.*
66....	26.....	Gas arzótico.....	*Gas azótico.*
73....	15.....	en general.....	*en general.*
75....	3.....	su division,.....	*su division,*
79....	31.....	sesisten.....	*resisten.*
91....	27.....	espíritu del vino.....	*espíritu de vino.*
137....	29 y 30..	haga, moverá á.....	*haga mover á.*
163....	27 y 28..	mas ó médos.....	*mas ó ménos.*
164....	14.....	refaccion.....	*refraccion.*
166....	28.....	retistencia.....	*resistencia.*
174....	3.....	prmer.....	*primer.*
184....	5 y 6..	chochante.....	*chocante.*
217....	9.....	pensatéz.....	*pesantéz.*
219....	31.....	del mismo.....	*del mismo modo.*
231....	12.....	fecto.....	*efecto.*
340....	30.....	tuvo.....	*tubo.*
341....	7.....	á aun.....	*á un.*
366....	16.....	é.....	*e.*
410....	1.....	resistencias.....	*resistencia.*

Digitized by Google

Digitized by Google

Fig. 4.

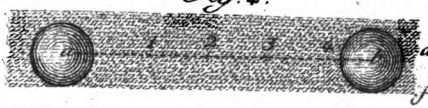


Fig. 6.

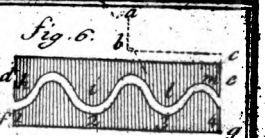


Fig. 5.

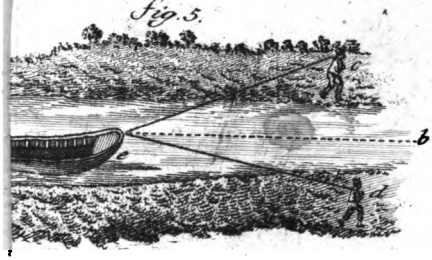
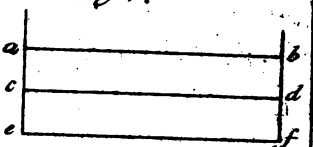


Fig. 7.



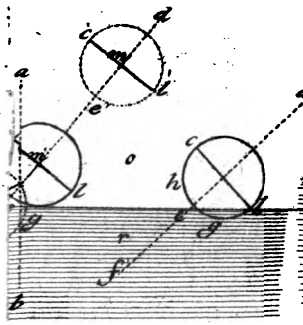
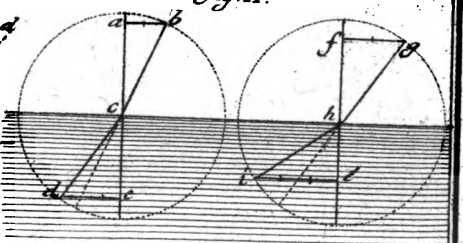


Fig. 11.



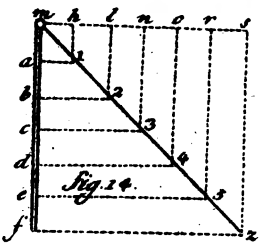


Fig. 14.

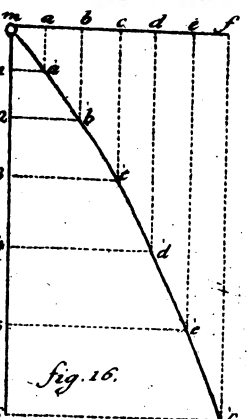


Fig. 16.

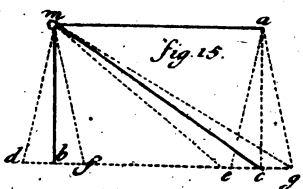
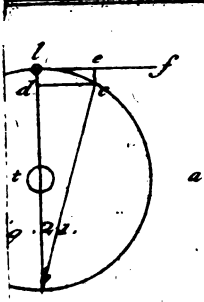


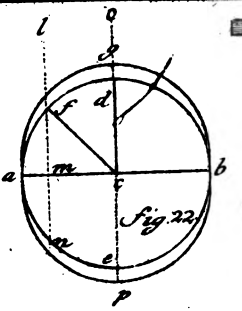
Fig. 15.

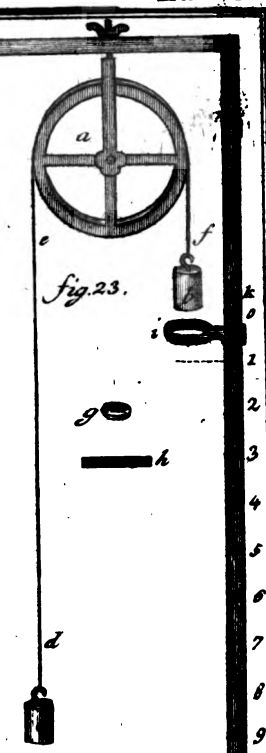
Manuel Navarro lo grabo.

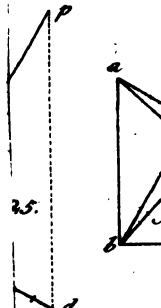
Digitized by Google

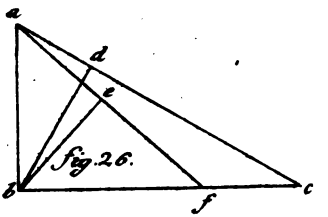
Digitized by Google

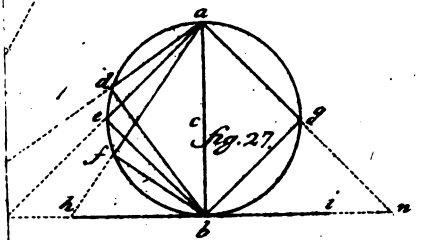


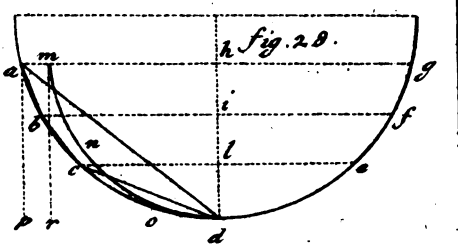


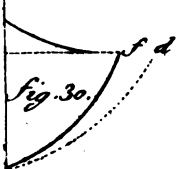








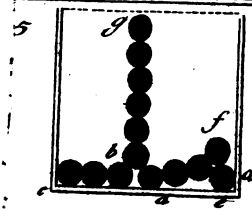


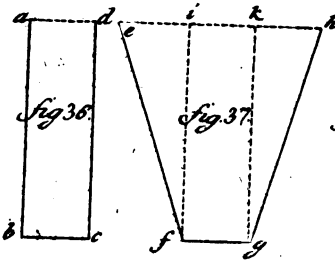


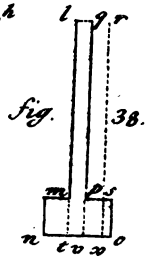
M. Navarro sc.

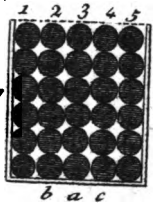
Digitized by Google

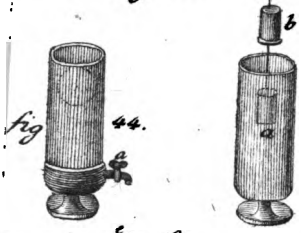
Digitized by Google

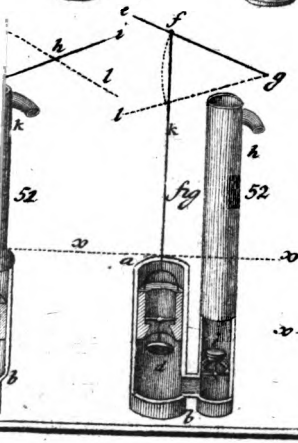


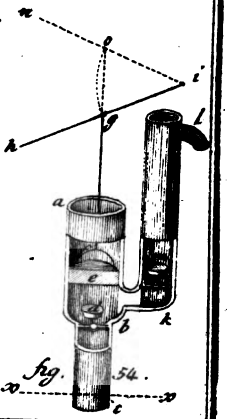








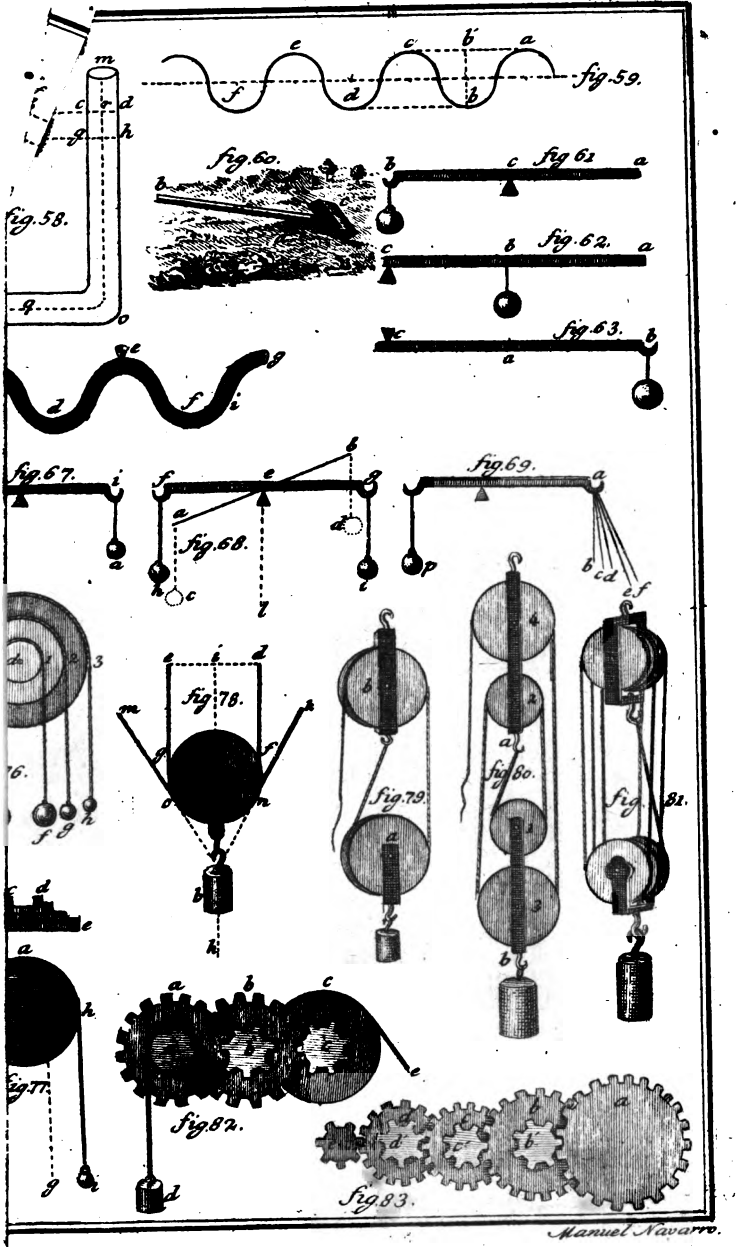




Manuel Navarro lo grabo.

Digitized by Google

Digitized by Google



Manuel Navarro.

Digitized by Google

Digitized by Google

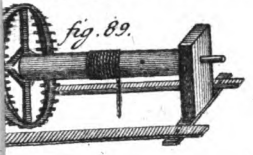


fig. 89.

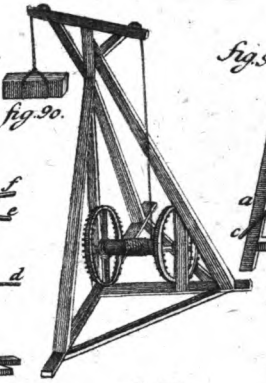


fig. 90.

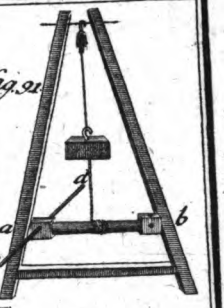


fig. 91.

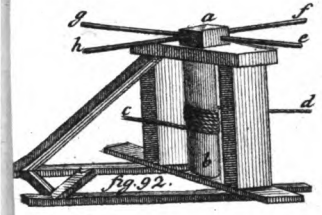


fig. 92.

96.

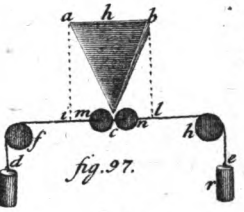


fig. 97.

fig. 98.

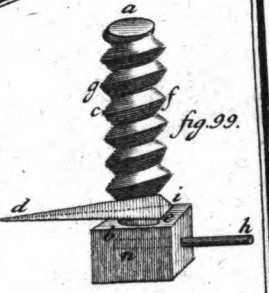


fig. 99.

fig. 105.

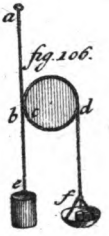


fig. 106.

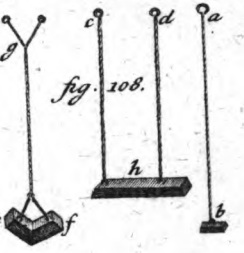


fig. 108.

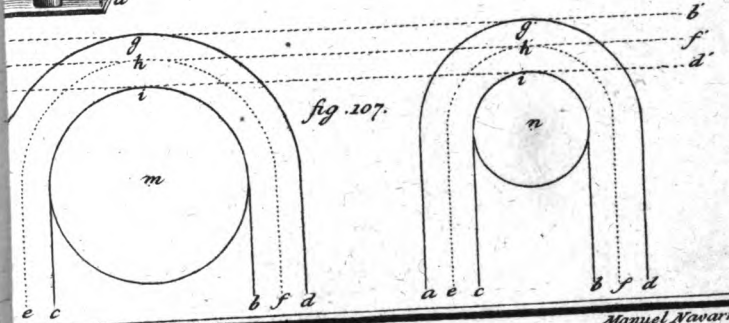


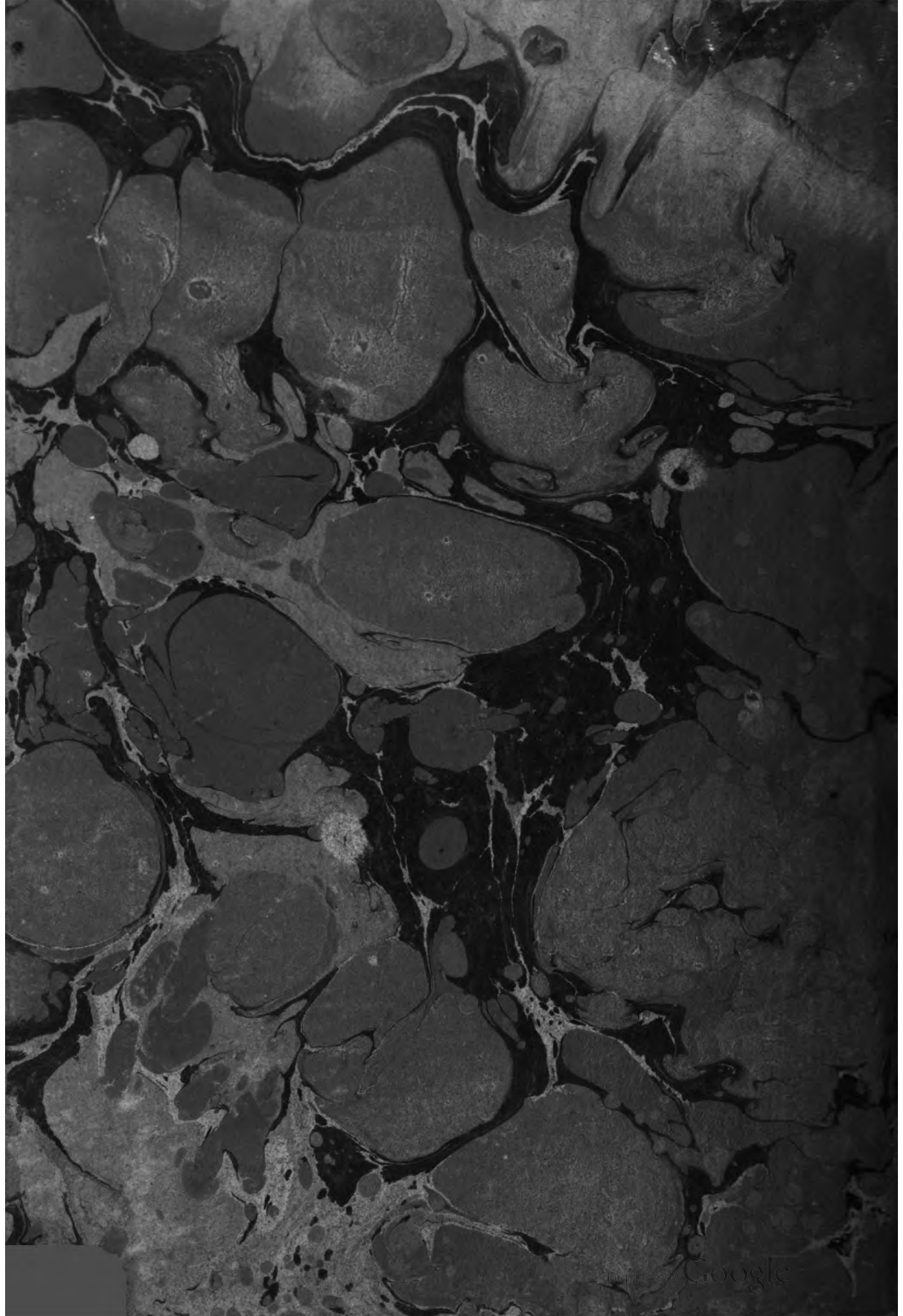
fig. 107.

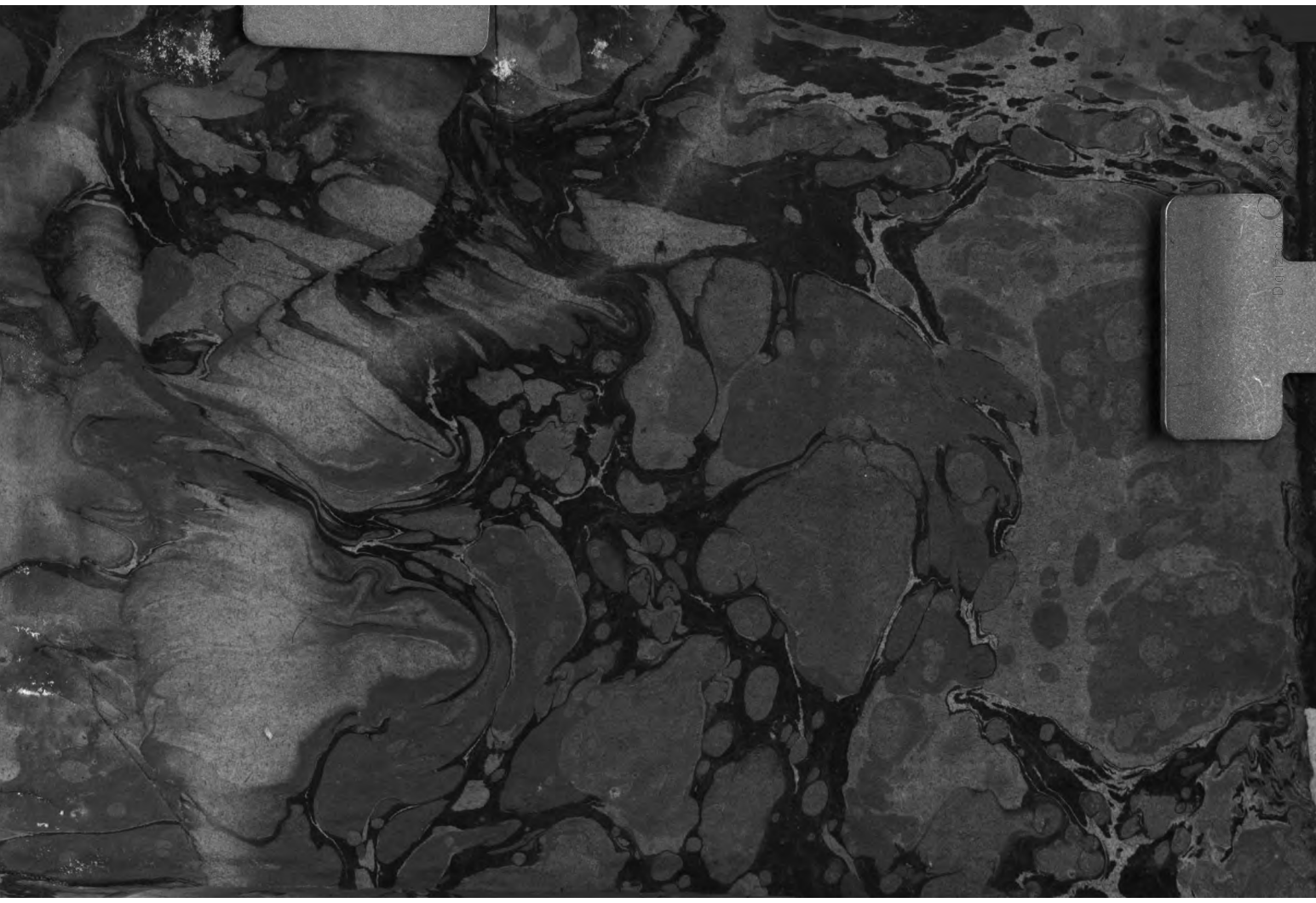
Manuel Navarro f.

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google


Digitized by Google



Digitized by Google